



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

PEMETAAN BAHAYA GEMPA WILAYAH SURABAYA DENGAN METODE *DETERMINISTIK SEISMIC HAZARD* *ASSESSMENT* (DSHA) DAN MIKROTREMOR

VIONA ROSALINA
NRP 3714100032

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Amien Widodo, M.S
NIP. 19591010 198803 1002

Dr. Dwa Desa Warnana
NIP. 19760123 200003 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



TUGAS AKHIR - RF141501

**PEMETAAN BAHAYA GEMPA WILAYAH SURABAYA
DENGAN METODE *DETERMINISTIK SEISMIC HAZARD*
ASSESSMENT (DSHA) DAN MIKROTREMOR**

VIONA ROSALINA
NRP 3714100032

DOSEN PEMBIMBING 1 :
Dr. Ir. AMIEN WIDODO, M.Si
NIP. 19591010 198803 1002

DOSEN PEMBIMBING 2 :
Dr. DWA DESA WARNANA
NIP. 19760123 200003 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

***EARTHQUAKE HAZARD MAPPING OF SURABAYA WITH
DETERMINISTIC SESMIC HAZARD ASSESSMENT (DSHA)
AND MICROTREMOR***

VIONA ROSALINA
NRP 034114400000032

SUPERVISOR 1st :
Dr. Ir. AMIEN WIDODO, M.Si
NIP 19591010 198803 1002

SUPERVISOR 2nd :
Dr. DWA DESA WARNANA
NIP 19760123 200003 1 001

GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Civil Engineering, Environment and Geoscience
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PEMETAAN BAHAYA GEMPA WILAYAH SURABAYA DENGAN METODE *DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD* *ASSESSMENT* (DSHA) DAN MIKROTREMOR

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Surabaya, 25 Juli 2018

Menyetujui,

-
1. Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si (Pembimbing I)
NIP. 19591010 198803 1 002
-
2. Dr. Dwa Desa Warnana (Pembimbing II)
NIP. 19760123 200003 1 001
-
3. Moh. Singgih Purwanto, S.Si., M.T. (Penguji I)
NIP. 19800916 200912 1 002
-
4. Wien Lestari, S.T., M.T. (Penguji II)
NIP. 19811002 201212 2 003

Mengetahui,

Kepala Laboratorium Geofisika Teknik dan Lingkungan
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya



Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.
NIP. 19591010 198803 1 002

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “Pemetaan Bahaya Gempa Wilayah Surabaya Dengan Metode *Deterministik Seismic Hazard Assesment* (DSHA) dan Mikrotremor” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 24 Juli 2018



Viona Rosalina
NRP. 03411440000032

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PEMETAAN BAHAYA GEMPA WILAYAH SURABAYA DENGAN METODE *DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT* (DSHA) DAN MIKROTREMOR

Nama Mahasiswa : Viona Rosalina
NRP : 03411440000032
Departemen : Teknik Geofisika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si
Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRAK

Secara geografis, Surabaya berada pada patahan Surabaya Waru yang diperkirakan aktif. Patahan tersebut diduga suatu saat dapat menimbulkan gempa bumi dengan kekuatan besar. Kondisi geologi Surabaya yang 80% wilayahnya merupakan cekungan endapan aluvial muda, memiliki potensi bahaya yang besar terhadap intensitas getaran tanah akibat amplifikasi dan intensitas gempa. Mempertimbangkan fakta bahwa 60,17% luas wilayah Surabaya merupakan kawasan terbangun, perlu dilakukan upaya mitigasi guncangan tanah terhadap potensi kerusakan bangunan akibat adanya sesar Kendeng dan sesar Waru. Salah satu faktor untuk menentukan besarnya potensi bahaya seismik adalah sifat fisik batuan. Penentuan sifat fisik batuan dapat diperoleh dari kecepatan gelombang permukaan (V_{s30}). Estimasi nilai V_s dapat dilakukan dengan pengukuran mikrotremor. Setelah dilakukan pengolahan data mikrotremor dengan metode *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr)*, diperoleh nilai V_s terhadap kedalaman. Nilai tersebut digunakan dalam estimasi nilai V_{s30} sehingga diperoleh persebaran nilai V_{s30} di kota Surabaya yang berkisar 133 m/s – 294 m/s. Nilai V_{s30} ini dipergunakan untuk memperkirakan bahaya gempabumi dan penentuan standard bangunan tahan gempa. Sementara itu, pada pembuatan bangunan yang tahan gempa harus mempertimbangkan nilai percepatan tanah di daerah tersebut yang diperoleh dari pengukuran nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA). Nilai PGA dapat diperkirakan dengan menggunakan metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA) dengan sumber gempa patahan aktif Surabaya dan Waru. Dari hasil perhitungan dengan metode DSHA diperoleh nilai PGA berkisar 0.76 g hingga 1.36 g. Nilai tersebut yang digunakan sebagai penentuan wilayah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap dampak gempa patahan. Wilayah dengan potensi kerusakan bangunan tinggi berada pada wilayah kecamatan Sambikerep, Lakarsantri, Wiyung, Dukuhpakis, Wonokromo, Jambangan, Wonocolo, Tandes, Sukomanunggal, Sawahan, Tegalsari, dan Gayungan

Kata Kunci : DSHA, HVSr, Mikrotremor, PGA, V_{s30} .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

EARTHQUAKE HAZARD MAPPING OF SURABAYA WITH DETERMINISTIC SEISMIC HAZARD ASSESSMENT (DSHA) AND MICROTREMOR

Student Name : Viona Rosalina
NRP : 03411440000032
Department : Teknik Geofisika FTSLK-ITS
Advisors : Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.
Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRACT

Geographically, Surabaya is located in Surabaya Waru fault which is estimated to be active. The fault is suspected one day can cause earthquakes with great strength. Surabaya's geological condition of 80% of its territory is a young alluvial sedimentary hollow, has a great potential hazard to the intensity of ground vibration due to amplification and intensity of the earthquake. Considering the fact that 60.17% of Surabaya area is a wake up area, it is necessary to mitigate earth shocks against potential damage to buildings due to the fault of Kendeng and Waru fault. One of the factors to determine the magnitude of the potential seismic hazard is the physical properties of the rock. Determination of physical properties of rocks can be obtained from surface wave velocity (Vs30). Estimation of Vs value can be done by microtremor measurement. After processing of microtremor data with horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) method, we get Vs value to depth. This value is used in estimation of Vs30 value so that the Vs30 value in Surabaya city is around 133 m / s - 294 m / s. VS30 value is used to estimate earthquake hazard and the determination of earthquake resistant building standards. Meanwhile, in earthquake-proof building should consider the acceleration value of the soil in the area obtained from the measurement of Peak Ground Acceleration (PGA) values. The PGA value can be estimated using the Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) method with the active earth fault source of Surabaya and Waru. From the calculation results with the method of DSHA obtained PGA value ranges from 0.76 g to 1.36 g. This value is used as the determination of areas that have high vulnerability to the effects of earthquake fault. Areas with potential damage to high-rise buildings are located in Sambikerep, Lakarsantri, Wiyung, Dukuhpakis, Wonokromo, Jambangan, Wonocolo and Gayungan districts.

Keywords: DSHA, HVSr, Microtremor, PGA, Surabaya, Vs30.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas rahmat-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Bahaya Gempa Dengan Pendekatan Deterministik Berdasarkan Data Mikrotremor Wilayah Surabaya”. Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas rahmat dan ridho-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat berjalan dan terselesaikan dengan baik
2. Mama atas segala doa, pengorbanan, kesabaran, dan kasih sayang yang telah diberikan tanpa rasa lelah.
3. Bu Ninik Suhartini dan Bapak Ahmad Farug(alm) serta Yohana Senkeyta dan Septiana Vernynda atas bantuan, bimbingan, kesabaran, perhatian, dan kasih sayang yang tanpa lelah diberikan. Terimakasih atas segalanya.
4. Imam Besari dan Dwicki Yulian Armadhany sebagai saudara sekaligus motivasi terbesar serta perhatian dan kasih sayang yang telah diberikan.
5. Semua keluarga atas motivasi dan dukungan yang sangat besar.
6. Dr. Amien Widodo, M.S dan Dr. Dwa Desa Warnana selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan Tugas Akhir sehingga laporan ini dapat terselesaikan
7. Juan Pandu G.N.R, S.Si, MT selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan motivasi selama penulis menjalani proses perkuliahan
8. Dosen Teknik Geofisika atas bimbingan, arahan, serta ilmu pengetahuan yang telah diberikan
9. Tenaga pendidik atas arahan dan bantuan selama penulis belajar di Departemen Teknik Geofisika ITS
10. Nizar Dwi Riyantyo atas arahan dan bimbingan yang telah diberikan dan sangat berarti saat pengolahan data serta penyelesaian tugas akhir ini.
11. Augustika Ratna sebagai teman seperjuangan terbaik yang selalu memberikan semangat tiada henti dan menemani dalam suka duka selama masa perkuliahan.
12. Putry Vibry dan Isnaeni atas keceriaan dan kebersamaan selama empat tahun terakhir. Terimakasih telah menjadi teman terbaik sepanjang perjalanan dalam masa perkuliahan.
13. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2014 atas dukungan, semangat, dan kerjasamanya dalam masa perkuliahan.
14. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu.

Terimakasih banyak atas doa dan dukungannya. Penulis menyadari dalam penyelesaian Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis probadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 24 Juli 2018

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Viona Rosalina', written in a cursive style.

Viona Rosalina
03411440000032

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	iii
LEMBAR PENGESAHAN	vii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	ix
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Daerah Penelitian	5
2.2 Gempa Bumi	9
2.3 Mikrotremor	10
2.4 Analisis HVSR	11
2.5 Konversi N-SPT dengan Kecepatan Geser.....	12
2.6 Kecepatan Gelombang Geser (V_{S30}).....	12
2.7 Klasifikasi Eurocode 8	13
2.8 Fungsi Atenuasi.....	13
2.9 Peak Ground Acceleration	20
2.10 Logic Tree	21
2.11 Deterministik Seismik Hazard Analysis (DSHA)	22
2.12 Penelitian Terdahulu	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	27
3.2 Peralatan Penelitian	27
3.3 Tahapan Penelitian	28
3.4 Data Penelitian	29
3.4.1 Data Mikrotremor	29
3.4.1 Data Patahan	31
3.5 Pengolahan Data.....	32
3.5.1 Analisa HVSR.....	32
3.5.2 Inversi HVSR.....	33
3.5.3 Perhitungan Nilai V_{S30}	34
3.5.4 Penentuan Titik Stasiun Pengamatan	35
3.5.5 Penentuan Koordinat Patahan	35
3.5.6 Perhitungan Jarak Stasiun Terhadap Patahan	36

3.5.7	Perhitungan Fungsi Atenuasi.....	36
3.5.8	Perhitungan Logic Tree	38
3.5.9	Pemetaan Peak Ground Acceleration (PGA).....	39
3.5.10	Analisis Bahaya Gempa	40
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Analisa Data.....	41
4.1.1	Analisa HVSR	41
4.1.2	Parameter Model Awal.....	42
4.1.3	Hasil Inversi HVSR.....	43
4.1.4	Grafik Spektral Akselerasi Fungsi Atenuasi.....	45
4.2	Pembahasan	47
4.2.1	Persebaran nilai Vs30 wilayah Surabaya.....	47
4.2.2	Persebaran Nilai Peak Ground Acceleration (PGA) Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi	50
4.2.2.1	Persebaran Nilai PGA Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi Boore- Atkinson.....	50
4.2.2.2	Persebaran Nilai PGA Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi Campbell.....	52
4.2.2.3	Persebaran Nilai PGA Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi Chiou-Youngs	53
4.2.2.4	Persebaran Nilai PGA Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi Grazier Kalkan	54
4.2.3	Persebaran Nilai PGA Hasil Logic Tree.....	55
4.2.3.1	Persebaran Nilai PGA Hasil Logic Tree Terhadap Patahan Surabaya 55	
4.2.3.2	Persebaran Nilai PGA Hasil Logic Tree Terhadap Patahan Waru 56	
4.2.4	Persebaran Nilai PGA kota Surabaya	57
BAB V PENUTUP.....		59
DAFTAR PUSTAKA		61
LAMPIRAN.....		63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi kota Surabaya dengan modifikasi (Sukardi, 1992)	5
Gambar 2.2 Peta Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017 (PUSGEN, 2017)	8
Gambar 2.3 Diagram alir analisis kurva HVSR pengolahan data mikrotremor (Mufida dkk., 2013)	11
Gambar 2.4 Logic Tree Perhitungan dengan Sumber Gempa Patahan	22
Gambar 2.5 Peta persebaran Vs30 kota Surabaya (Mufida dkk., 2013)	24
Gambar 2. 6 Peta Bahaya Gempa deterministik PGA di batuan dasar akibat sumber gempa sesar dangkal dengan 84 percentile (150% median)	24
Gambar 3.1 Titik Pengukuran Mikrotremor Wilayah Surabaya	27
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 3. 3 Data mikrotremor di titik SBY065	31
Gambar 3.4. Patahan Surabaya (garis lurus) dan Waru (garis putus-putus) yang melintasi kota Surabaya	32
Gambar 3. 5 Pemilihan windows pada data mikrotremor di titik SBY065	33
Gambar 3. 6 Kurva Hasil Inversi pada Titik SBY065.	34
Gambar 3.7 Titik Stasiun Pengamatan Surabaya	35
Gambar 3. 8 Script perhitungan fungsi atenuasi Grazier Kalkan	37
Gambar 3.9 Logic Tree Penelitian Berdasarkan Sumber Gempa Patahan	39
Gambar 4. 1 Kurva hasil analisa HVSR pada titik pengukuran SBY065	41
Gambar 4. 2 Kurva Hasil Inversi pada Titik SBY065.	44
Gambar 4. 3 Grafik Spectral Acceleration pada nilai Vs30 158.05m/s ² dengan Sumber Gempa akibat Patahan Surabaya	45
Gambar 4. 4 Grafik Spectral Acceleration pada nilai Vs30 264.5 m/s ² dengan Sumber Gempa akibat Patahan Surabaya	46
Gambar 4. 5 Peta Persebaran nilai VS30 kota Surabaya	48
Gambar 4. 6 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya Berdasarkan Rumusan Boore-Atkinson	51
Gambar 4. 7 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya Berdasarkan Rumusan Campbell	52
Gambar 4. 8 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya Berdasarkan Rumusan Chiou-Youngs	53
Gambar 4. 9 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya Berdasarkan Rumusan Grazier Kalkan	54

Gambar 4. 10 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya	55
Gambar 4. 11 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru	56
Gambar 4. 12 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) kota Surabaya.....	57
Gambar 1 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru berdasarkan Rumusan Boore-Atkinson	66
Gambar 2 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru berdasarkan Rumusan Campbell	66
Gambar 3 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru Berdasarkan Rumusan Chiou-Youngs.....	67
Gambar 4 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru Berdasarkan Rumusan Grazier Kalkan.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi tanah sesuai dengan Eurocode 8 (CEN, 2004)	13
Tabel 3. 1 Titik Pengukuran oleh Departemen Teknik Geofisika.....	29
Tabel 3. 2 Titik Pengukuran oleh peneliti sebelumnya (Riyantiyo, 2017).....	30
Tabel 4. 3 Hasil inversi HVSr pada titik pengukuran mikrotremor SBY065 ..	44
Tabel 1 Nilai Frekuensi dan Amplitudo Hasil Analisa HVSr.....	63
Tabel 2 Nilai Vs30 Hasil Inversi HVSr pada Seluruh Titik Pengukuran	64

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Surabaya merupakan kota terbesar kedua di Indonesia yang memiliki luas wilayah 33.048 ha, dimana 60,17% luas wilayahnya berupa kawasan terbangun dan jumlah penduduk kurang lebih 3 juta jiwa. Kota Surabaya terus berkembang secara dinamis sebagai salah satu pusat regional dan nasional yang kompleks. Perencanaan dan pengembangan kota yang baik adalah dengan mempertimbangkan kondisi di bawah permukaan bumi. Struktur geologi dan kondisi geomorfologi perlu diperhatikan sehubungan dengan potensi bencana maupun kandungan sumberdaya mineral dan tambang di wilayah kota tersebut yang bermanfaat untuk perkembangan kota (Daryono dkk., 2009; Nakamura dkk., 2000). Aktivitas tektonik di permukaan bumi dapat menjadi salah satu penyebab terjadinya bencana alam geologi, demikian halnya dengan aktivitas vulkanik di bawah permukaan bumi yang juga mungkin sampai di permukaan (Soehaimi, 2008). Berdasarkan geologi Surabaya, 80% wilayahnya merupakan cekungan endapan aluvial muda hasil endapan laut dan sungai dan sisanya merupakan perbukitan rendah yang dibentuk oleh tanah hasil pelapukan batuan tersier/tua. Wilayah dengan kondisi geologi seperti inilah yang mempunyai potensi bahaya lebih besar terhadap efek intensitas getaran tanah akibat amplifikasi (Sukardi, 1992).

Pusat Studi Gempa Nasional 2017 menemukan fakta bahwa letak Surabaya secara geografis berada pada patahan/sesar yang diperkirakan masih aktif dan diduga suatu saat besar kemungkinan bisa menimbulkan gempa bumi dengan kekuatan besar di wilayah Surabaya. Patahan tersebut adalah sesar Kendeng dan sesar Waru. Sesar tersebut membelah Surabaya menjadi dua bagian yaitu Utara dan Selatan dengan perkiraan magnitudo maksimum 6,5. Sesar Kendeng melintasi tengah kota Surabaya dan bergerak 0,05 mm/tahun. Sedangkan di daerah Waru, Sidoarjo terdapat patahan Waru yang bergerak sebesar 0,05mm/tahun (PUSGEN, 2017). Mempertimbangkan fakta bahwa 60,17% luas wilayah Surabaya merupakan kawasan terbangun, maka perlu dilakukan upaya mitigasi guncangan tanah terhadap potensi kerusakan bangunan akibat adanya sesar Kendeng dan sesar Waru.

Salah satu faktor untuk menentukan besarnya potensi bahaya seismik adalah sifat fisik batuan yang dapat diperoleh dari kecepatan gelombang permukaan (V_s30). Karakteristik dinamik tanah seperti mengestimasi nilai V_s untuk kedalaman tanah dalam multi dimensi secara konvensional digunakan metode geofisika borehole, namun membutuhkan biaya lebih mahal serta waktu yang cukup lama untuk mengestimasi nilai V_s dan estimasi distribusi kerusakan akibat gempabumi (Nakamura dkk., 2000). Untuk itu dilakukan observasi mikrotremor yang dapat menampilkan profil tanah bawah permukaan tanpa pengeboran dan dapat digunakan untuk mengestimasi properti dinamik (Mufida dkk., 2013). Nakamura (1989) menunjukkan bahwa mikrotremor rasio spektrum horizontal-to-vertikal (HVSr) yang dapat

ditentukan dengan mudah hanya dengan satu sensor dengan tiga komponen, dapat mengestimasi faktor amplifikasi dari daerah setempat untuk insiden gelombang S secara vertikal, karena HVSr merepresentasikan karakteristik dinamik setempat, sebagaimana didukung oleh Sungkono dan Santosa (2010). Sebagaimana yang diungkapkan oleh Roser dan Gosar (2010), Nilai VS30 ini dapat dipergunakan untuk memperkirakan bahaya gempabumi dan penentuan standard bangunan tahan gempa. Pada pembuatan bangunan yang tahan gempa harus mempertimbangkan nilai percepatan tanah di daerah tersebut yang diperoleh dari pengukuran nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA). Nilai PGA dapat diperkirakan dengan menggunakan metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis*(Riyanti, 2017).

Metode *Deterministic Seismic Hazard Analysis* (DSHA) diimplementasikan dengan menentukan skenario parameter gempa dengan cara memilih magnitudo maksimum dan lokasi terdekat dari sumber gempa yang diperkirakan akan menghasilkan dampak pada titik pengamatan(Windu dkk., 2015). Metode ini umumnya diaplikasikan untuk mengestimasi percepatan gempa untuk konstruksi yang sangat membahayakan jika terjadi kerusakan, seperti bangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), bendungan besar, konstruksi yang dekat dengan sesar aktif, dan untuk keperluan *emergency response*(Kramer, 1996) .Sehingga diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perencanaan pengembangan infrastruktur kota Surabaya.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang dihadapi pada penelitian Tugas Akhir ini yaitu :

1. Bagaimana menentukan persebaran nilai V_{s30} kota Surabaya
2. Bagaimana persebaran nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) kota Surabaya

1.3 Tujuan

Adapun Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui persebaran nilai V_{s30} kota Surabaya
2. Mengetahui persebaran nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) kota Surabaya

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir diperlukan untuk menghindari penyimpangan terhadap permasalahan agar tidak semakin meluas yakni data mikrotremor merupakan data sekunder yang dimiliki Departemen Teknik Geofisika ITS serta data pengukuran mikrotremor oleh Nizar Riyantiyo pada penelitian Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Analisa Mikrotremor, Studi Kasus: Patahan Lokal Sungai Surabaya (Riyantiyo, 2017). Sumber gempa

merupakan patahan yang melintasi kota Surabaya yakni patahan Kendeng dan patahan Waru.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu mengetahui persebaran nilai V_{s30} dan nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) di kota Surabaya. Sehingga dapat diketahui daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana gempa bumi. Selain itu, dapat digunakan sebagai upaya mitigasi bahaya gempa bumi akibat patahan aktif Surabaya dan patahan Waru. Diharapkan dengan adanya penelitian ini, dapat digunakan untuk mengetahui tingkat resiko guncangan tanah terhadap potensi kerusakan bangunan. Serta sebagai pertimbangan dalam perencanaan pengembangan infrastruktur dan tata kota Surabaya.

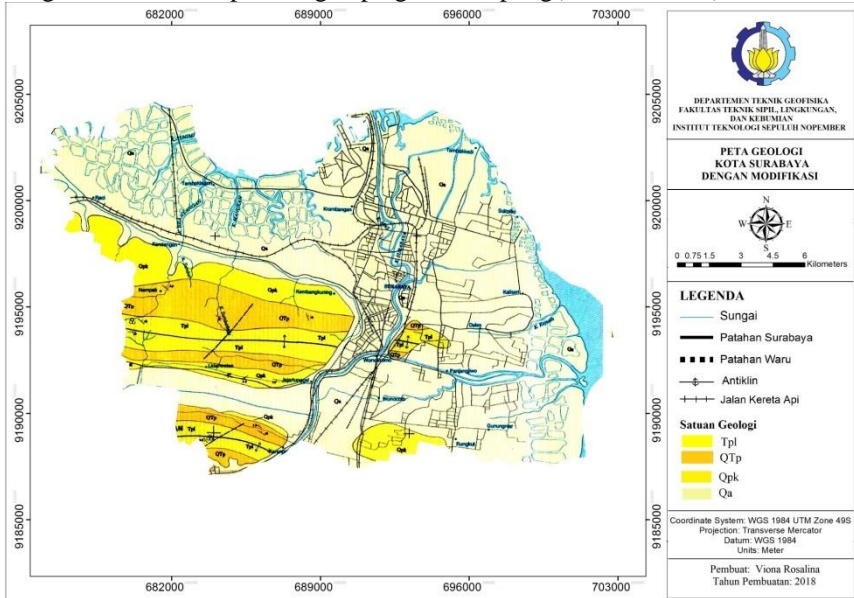
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Penelitian

2.1.1 Geologi Daerah

Secara geologi, kota Surabaya terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen sampai Plistosen. Batuan sedimen ini merupakan bagian dari lajur Kendeng dengan formasi Sonde, Lidah, Pucangan, dan formasi Kabuh. Batuan dasar untuk kota Surabaya merupakan formasi Lidah yang berumur Pliosen (*pre-tertiary*). Formasi ini berada pada kedalaman 250 – 300 meter. Berdasarkan peta geologi Surabaya dan Sapulu, daerah Surabaya merupakan daerah dengan kondisi geologi berupa cekungan endapan aluvial dan batu pasir dengan sedimen berupa batu gamping dan lempung (Sukardi, 1992)



Gambar 2.1 Peta Geologi kota Surabaya dengan dengan modifikasi (Sukardi, 1992)

Wilayah kota Surabaya merupakan dominan daerah dataran rendah, yang berkisar 80% merupakan endapan alluvial dan sisanya merupakan perbukitan rendah yang dibentuk oleh tanah hasil pelapukan batuan tersier/tua (Bahri dan Madlazim, 2012). Menurut Sukardi (1992) wilayah Surabaya terdiri dari satuan geologi sebagai berikut.

a. Alluvium

Kerakal, kerikil, pasir, lempung, dan setempat pecahan cangkang fosil

b. Formasi Kabuh

Batupasir, setempat kerikilan, kelabu muda, berbutir kasar, berstruktur perairan, dan silang-siur, konglomerat, terpilah buruk, kemas terbuka, berstruktur lapisan bersusun

c. Formasi Pucangan

Bagian bawah: batupasir tufan berlapis baik, bersisipan konglomerat dan batu lempung, kaya akan fosil moluska dan plankton. Bagian atas: batupasir tufan berlapis baik, umumnya berstruktur perairan dan silangsiur.

d. Formasi Lidah

Batulempung biru, setempat kehitaman, kenyal, pejal dan keras bila kering, miskin fosil; lensa tipis batulempung pasir

Dataran rendah terbentuk dari endapan alluvial sungai dan endapan pantai. Bagian tengah Kota Surabaya terbentuk oleh endapan Sungai Brantas beserta cabang-cabang sungainya dan endapan Sungai Rowo. Endapan Sungai Brantas berasal dari letusan gunung-gunung berapi yang berada di hulu dan beberapa rombakan sebelumnya. Endapan ini biasanya berupa pasir (0,075 mm – 0.2 mm) dan kerikil (2 mm – 75 mm). Bagian timur dan utara sampai sepanjang Selat Madura dibentuk oleh endapan pantai yang masuk ke daratan sampai ± 5 km. Endapan pantainya terdiri dari lempung lanau dan lempung kelanauan, sisipan tipis tipis yang pada umumnya mengandung banyak kepingan kerang di beberapa tempat (Bahri dan Madlazim, 2012).

2.1.2 Stratigrafi Regional

Menurut Pringgoprawiro (1983) maka secara stratigrafi Zona Kendeng dapat dibagi menjadi urutan stratigrafi sebagai berikut :

a. Formasi Pelang

Terdiri dari napal abu-abu yang massif sampai berlapis yang kaya fosil dan batulempung abu-abu dengan sisipan batugamping bioklastik. Lapisan ini diendapkan pada lingkungan neritik dan berumur Oligosen Akhir-Miosen Awal.

b. Formasi Kerek

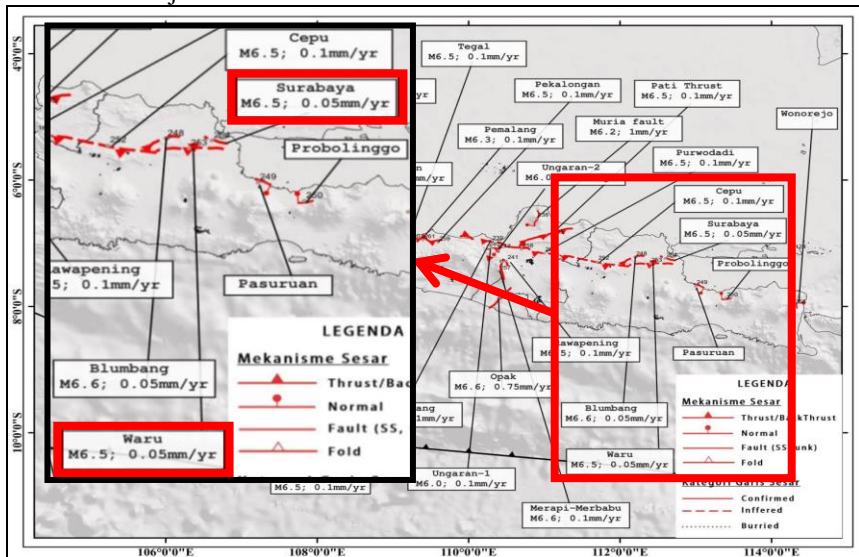
Terdiri dari endapan turbidit dengan ketebalan 800 m. Sebagian besar terbentuk oleh lapisan yang menghalus dan menipis keatas dengan tipe struktur sedimen arus densitas. Litologinya terdiri dari atas batupasir tufaan, batulempung, napal, dan batu gamping. Formasi ini berumur Miosen Awal – Miosen Akhir.

- c. Formasi Kalibeng (Kalibeng Bawah)
Terdiri dari napal abu-abu kehijauan kaya fosil dengan sisipan tuf berlapis tipis. Sedimen ini diendapkan pada lingkungan *bathyal*. Bagian atas dari Formasi Kalibeng (Anggota Atasangin) terdiri atas perlapisan batupasir tufaan berukuran halus-kasar, tuf putih, dan breksi vulkanik. Sedimen ini diendapkan oleh mekanisme turbidit. Formasi ini berumur Miosen Akhir-Pliosen.
- d. Formasi Sonde (Kalibeng Atas)
Bagian bawah dari formasi ini (Anggota Klitik) didominasi oleh perlapisan napal pasiran, batupasir gampingan, dan tuf. Sedangkan bagian atasnya terdiri atas batugamping mengandung *Balamus* dan *Grainstone*. Formasi ini diendapkan di lingkungan laut dangkal dan berumur Pliosen.
- e. Formasi Pucangan
Terdiri atas batupasir kasar konglomeratan, batupasir, batupasir tufaan, dan lempung hitam yang mengandung moluska air tawar. Di zona Kendeng bagian barat dan tengah, Formasi Pucangan berkembang sebagai fasies daratan. Sedangkan di bagian timur Zona Kendeng, Formasi Pucangan merupakan endapan laut dangkal. Formasi ini berumur Pliosen Akhir- Pleistosen Awal.
- f. Formasi Kabuh
Terdiri atas perlapisan batupasir kasar dengan perlapisan silang siur, fosil vertebrata, lensa konglomerat, dan tuf. Di Zona Kendeng bagian barat dan tengah. Formasi kabuh diendapkan pada lingkungan darat, sedangkan di Zona Kendeng bagian timur Formasi Kabuh mempunyai fasies yang berbeda-beda, fasies darat berangsur-angsur berubah menjadi fasies laut yang makin keatas berubah ke batuan vulkanik yang diendapkan pada lingkungan pantai.
- g. Formasi Notopuro
Terdiri dari endapan lahar, tuf, dan batu pasir tufaan berumur Pleistosen yang diendapkan pada lingkungan darat.
- h. Endapan Teras Bengawan Solo dan Endapan Aluvial
Terdiri dari pasir dan gravel yang menutupi kelerengan dari bukit, terutama di sepanjang Sungai Bengawan Solo antara Ngawi dan Cepu, pada ketinggian bervariasi dari 38-71 m di atas permukaan laut (ketebalan lapisan sungai mencapai 38 m) yang merepresentasikan deposisi selama proses kenaikan progresif dari Perbukitan Kendeng yang mana sungai memotong secara anteseden. Pada banyak tempat

gravel juga mengandung fosil vertebrat termasuk manusia Solo (*Homo neanderthalensis soloensis* Oppenoorth) di daerah Ngandong dan Watumalang. Umur dari endapan teras ini adalah *Uppermost Pleistocene*. Endapan Aluvial sendiri berumur *Holocene* yang menumpang secara tidak selaras di atas Formasi Notopuro dan berumur paling muda (Marks, 1987)

2.1.3 Tektonik Regional

Secara geografis, Surabaya berada pada dua patahan yang diperkirakan masih aktif. Patahan tersebut adalah sesar Kendeng dan sesar Waru dengan magnitudo 6.5. Sesar Kendeng melintasi tengah kota Surabaya dan bergerak 0,05 mm/tahun. Sedangkan di daerah Waru, Sidoarjo terdapat patahan Waru yang bergerak sebesar 0,05mm/tahun (PUSGEN, 2017). Pergerakan sesar Kendeng dan sesar Waru diduga terjadi karena desakan lempeng Indo-Australia pada bagian utara wilayah Surabaya. Salah satu fenomena geologi yang menarik di Surabaya adalah pembelokan sungai pada area antara dua antiklin yang tampak memiliki pergeseran lokasi. Hal tersebut menjadi suatu indikasi adanya sesar yang mengakibatkan sungai bergeser secara tidak wajar.



Gambar 2.2 Peta Sumber Gempa Indonesia Tahun 2017 (PUSGEN, 2017)

Sesar Kendeng merupakan zona sesar yang memanjang mengarah barat timur dari Jawa Tengah hingga bagian barat Jawa Timur. Sesar ini terdiri dari kumpulan sesar-sesar naik dan lipatan-lipatan (blind faults) yang dapat

diamati dari adanya anomali Bouguer di daerah ini (Hamilton, 1979). Pada bagian barat sesar Kendeng ini terlihat menyambung ke dalam sistem Sesar Semarang dan Baribis. Gempa-gempa dangkal berukuran sedang (M4-5) terjadi di sepanjang zona sesar ini dalam beberapa tahun terakhir. Bukti pergerakan sesar ini dapat diamati dengan adanya teras-teras sungai yang terangkat seiring dengan pergerakan sesar-sesar di daerah ini (Marliyani dkk., 2016)

Selain sesar Kendeng dan sesar Waru, Surabaya berada dekat dengan beberapa lajur sesar. Sesar-sesar tersebut adalah sesar Lasem, sesar Watukosek, sesar Grindulu dan sesar Pasuruan. Sesar Lasem berada di utara kota Surabaya sepanjang 70km. Sesar Watukosek berada di selatan Surabaya yang membentang dari Mojokerto hingga Madura sepanjang 30km. Sementara sesar Grindulu yang berada di pantai selatan Pacitan hingga Mojokerto sepanjang 50km (PUSGEN, 2017) Sehingga Surabaya memungkinkan terjadi gempa yang bersumber dari sesar-sesar tersebut.

2.2 Gempa Bumi

Kejadian gempa sangat erat kaitannya dengan gerakan lempeng tektonik dan teori elastic rebound. Lempeng-lempeng tektonik di dunia bergerak menurut arah dan kecepatannya masing-masing. Gerakan lempeng-lempeng tektonik tersebut ada yang saling menjauhi, saling mendekati, atau saling bergeser. Gerakan ini berlangsung lambat, kadang-kadang gerakan lempeng tersebut macet dan saling mengunci. Akibatnya terjadi pengumpulan energi yang berlangsung terus menerus, apabila batuan pada lempeng tektonik tersebut tidak lagi kuat menahan gerakan tersebut, terjadilah pelepasan energi secara mendadak dan menjalar dalam bumi yang biasa dikenal sebagai gempa (Nugraha dkk., 2014)

Gempa merupakan manifestasi dari getaran lapisan batuan yang patah yang energinya menjalar melalui badan dan permukaan bumi berupa gelombang seismik. Energi yang dilepaskan pada saat terjadinya patahan tersebut dapat berupa energi deformasi, energi gelombang, dan lain-lain. Energi deformasi ini dapat terlihat pada perubahan bentuk sesudah terjadinya patahan, contohnya pergeseran. Sedangkan energi gelombang menjalar melalui medium elastis yang dilewatinya yaitu lapisan bumi dan dapat dirasakan di daerah terjadinya gempa tersebut (Nugraha dkk., 2014)

Besar kekuatan gempabumi biasanya diukur dengan menggunakan 3 skala, yaitu:

a. Berdasarkan energi yang dilepaskan di pusat gempa.

Magnitudo menunjukkan besaran atau jumlah energi yang dilepaskan pada suatu pusat gempa (Hypocenter) yang dapat diukur dengan seismograf. Gempa dengan skala 3 magnitudo atau lebih biasanya hampir tidak terlihat, dan gempa dengan skala magnitudo 7 biasanya lebih berpotensi menyebabkan kerusakan serius di daerah yang

luas, tergantung pada kedalaman gempa. Gempa bumi terbesar bersejarah besarnya telah lebih dari 9, meskipun tidak ada batasan besarnya (Natawidjaja, 2007)

- b. Berdasarkan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa.

Intensitas merupakan derajat kerusakan akibat gempa bumi atau intensitas maksimum yang dihasilkan oleh gempa tersebut. Umumnya menggunakan skala intensitas menurut tingkat kerusakan atau yang dirasakan manusia. Salah satu skala intensitas yang dikenal adalah MMI (Modified Mercalli Intensity) digunakan sejak tahun 1956. Meskipun demikian skala intensitas sifatnya sangat subjektif dan telah digunakan sejak sebelum ditemukan alat-alat pencatat gempa bumi.

- c. Berdasarkan Percepatan batuan dasar maksimum

Data PGA merupakan data gempa yang diperlukan untuk kepentingan desain bangunan. Untuk mengetahui besarnya PGA, bisa dihitung dari besarnya magnitudo dan kedalaman gempa, kemudian dengan rumus atenuasi yang kini sudah berkembang hingga beberapa generasi (Natawidjaja, 2007). Gerakan tanah yang terjadi pada lapisan bawah tanah atau batuan padat, karakteristiknya dijelaskan menggunakan parameter amplitudo yaitu percepatan tanah maksimum, kecepatan tanah maksimum dan pergeseran maksimum. Nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan menunjukkan tingkat resiko bencana yang terjadi.

2.3 Mikrotremor

Mikrotremor merupakan getaran lingkungan (*ambient vibration*) yang berasal dari dua sumber utama, yaitu dari aktivitas manusia dan alam (Nakamura dkk., 2000). Pada frekuensi rendah yaitu dibawah 1 Hz, sumber mikrotremor adalah alam. Gelombang laut menimbulkan *ambient vibration* dengan frekuensi sekitar 0.2 Hz sedangkan frekuensi sekitar 0.5 Hz dihasilkan oleh interaksi antara gelombang laut dan pantai. Pada frekuensi di bawah 0.1 Hz, mikrotremor diasosiasikan dengan aktivitas di atmosfer. Frekuensi tinggi, lebih dari 1 Hz bisa ditimbulkan oleh angin dan aliran air. Pada frekuensi tinggi yaitu lebih dari 1 Hz, sumber utamanya adalah aktifitas manusia seperti lalu lintas kendaraan, mesin dan lainnya (Takai dan Tanaka, 1961). Amplitudo gelombang mikrotremor berubah terhadap waktu sesuai dengan tingkat intensitas sumber di permukaan, tetapi frekuensi/periode gelombang relatif tetap (Nakamura, 1989). Pada dasarnya, Mikrotremor merupakan getaran alami tanah yang terjadi secara terus menerus dan terperangkap pada lapisan tanah. Getaran ini kemudian terpantulkan oleh adanya bidang batas lapisan akibat adanya getaran mikro di bawah permukaan tanah maupun kegiatan alam lainnya.

2.4 Analisis HVSR

Nakamura (1989) mengembangkan metode HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) untuk mengestimasi nilai frekuensi dan amplifikasi keadaan geologi setempat dengan membandingkan spektrum horizontal dengan spektrum vertikalnya. Karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal di batuan dasar mendekati nilai satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek dari gelombang Rayleigh dapat dihilangkan. Sehingga hanya ada pengaruh yang disebabkan oleh struktur geologi lokal. Metode ini dapat menunjukkan adanya korelasi yang tepat dengan frekuensi alami dasar medium pada lapisan yang lunak (soft soil). Sehingga metoda HVSR didasari oleh terperangkapnya getaran gelombang geser pada medium sedimen diatas bedrock. Metode HVSR mengestimasi rasio amplitude spectrum horizontal dan vertikal dengan persamaan berikut

$$R(f) = \left[\frac{\sqrt{F_{NS}(f)^2 + F_{EW}(f)^2}}{F_Z(f)} \right] \quad (2.1)$$

dengan :

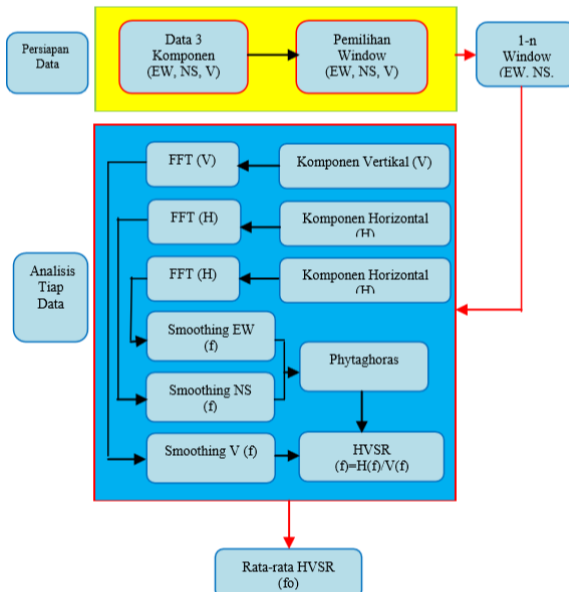
$R(f)$ = Spektrum rasio vertikal terhadap horizontal

F_{NS} = Spektrum Fourier pada *North-South*

F_{EW} = Spektrum Fourier pada *East-West*

F_Z = Spektrum Fourier pada vertikal

Berikut merupakan diagram alir proses analisis HVSR data mikrotremor.



Gambar 2.3 Diagram alir analisis kurva HVSR pengolahan data mikrotremor (Mufida dkk., 2013)

2.5 Konversi N-SPT dengan Kecepatan Geser

Uji N-SPT dilakukan dengan cara pengeboran untuk mengetahui perlawanan dinamik tanah dengan teknik penumbukan. Tes ini terdiri dari uji pemukulan tabung belah berdinding tebal ke tanah dengan disertai pukulan. Jumlah pukulan tersebut dicatat dalam bentuk grafik sehingga didapat nilai pukulan N atau perlawanan SPT. Dalam memperoleh nilai Vs dilakukan konversi menggunakan persamaan yang dinyatakan oleh (Fauzi, 2014). Persamaan ini mengacu pada penelitian sebelumnya untuk korelasi kecepatan geser dengan nilai N-SPT di wilayah kota Jakarta. Dimana kondisi geologi kota Jakarta memiliki kesamaan dengan kota Surabaya yakni batuan aluvial. Berikut merupakan persamaan dalam konversi nilai N-SPT dengan Vs.

$$V_s = 105.3N^{0.286} \text{ dengan } r = 0.675 \quad (2.2)$$

Dimana N merupakan jumlah pukulan pada saat uji N-SPT.

2.6 Kecepatan Gelombang Geser (V_{s30})

V_{s30} merupakan parameter geoteknik yang sangat berguna untuk analisa gelombang seismik. V_{s30} merupakan kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m dari permukaan. V_{s30} merupakan data yang penting dan paling banyak digunakan dalam geofisika untuk menentukan karakteristik struktur bawah permukaan hingga kedalaman 30 meter. Karakteristik atau sifat batuan sangat dibutuhkan untuk menganalisa sifat dinamis batuan, sehingga kekakuan batuan, dan kuat geser tanah dapat diketahui, dengan mengukur kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m.

Kecepatan gelombang S adalah kecepatan gelombang yang terjadi di dekat permukaan tanah. Para ahli berpendapat bahwa *soil density* hanya sedikit bervariasi menurut kedalaman, sehingga kecepatan gelombang S dipandang lebih tepat sebagai salah satu kriteria klasifikasi tanah. Kecepatan gelombang geser juga bervariasi menurut kedalaman tanah, sehingga para ahli sepakat untuk memakai rata-rata kecepatan gelombang S sampai 30 meter di bawah permukaan (Prawirodikromo, 2012)

Nilai V_{s30} ini dapat dipergunakan untuk memperkirakan bahaya gempabumi dan penentuan standar bangunan tahan gempa. V_{s30} dapat diestimasi menggunakan pengukuran mikrotremor dan teknik *Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)*, selain itu dapat diestimasi berdasarkan geologi permukaan dan kondisi geomorfologi. Untuk pengukuran mikrotremor, nilai V_{s30} diperoleh dari nilai frekuensi dominan hasil pengolahan yang dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{v_i}} \quad (2.2)$$

dengan,

V_{s30} = Kecepatan rata-rata gelombang S pada kedalaman 30 meter (m/s)

h_i = ketebalan lapisan tanah setiap lapisan ke-i (m)

v_i = kecepatan gelombang geser setiap lapisan ke-i (m/s)

Analisis kecepatan gelombang geser digunakan untuk mengetahui potensi kerusakan apabila terjadi gempa bumi. Hal ini disebabkan karena dampak kerusakan suatu tempat gempa bumi tidak hanya berdasarkan jarak episenter dan besar kekuatan gempa, tetapi juga kondisi lokal daerah setempat. Salah satu metode yang dapat menggambarkan kondisi lokal daerah setempat adalah pemetaan nilai kecepatan gelombang geser (V_{s30}). Guncangan lebih kuat terjadi pada daerah dengan nilai V_{s30} yang rendah (Susilanto dan Ngadmanto, 2015)

2.7 Klasifikasi Eurocode 8

Berdasarkan nilainya, kecepatan gelombang geser dapat digunakan sebagai acuan dalam penentuan klasifikasi jenis tanah. Berikut merupakan klasifikasi tanah sesuai dengan Eurocode 8 yang disajikan pada tabel berikut (Mufida dkk., 2013)

Tabel 2. 1 Klasifikasi tanah sesuai dengan Eurocode 8 (CEN, 2004)

Tipe Tanah	Gambaran Stratigrafi	Vs30 (m/s)
A	Batuan atau formasi batuan lainnya	>800
B	Endapan <i>sand</i> atau <i>clay</i> yang sangat padat, <i>gravel</i> , pada ketebalan beberapa puluh meter, ditandai dengan peningkatan sifat fisik mekanik terhadap kedalaman	360 – 800
C	Endapan <i>sand</i> padat atau setengah padat yang tebal, <i>gravel</i> atau <i>clay</i> padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter	180 – 360
D	Endapan tanah kohesi rendah sampai sedang (dengan atau tanpa beberapa lapisan kohesi rendah), terutama pada tanah kohesi rendah	<180
E	Lapisan tanah terdiri dari alluvium pada permukaan dengan nilai Vs tipe C atau D dengan ketebalan bervariasi 5m hingga 20m, dibawah tanah ini berupa material keras dengan Vs > 800	
S1	Endapan terdiri dari atau mengandung, ketebalan lapisan minimal 10m, pada tanah lempung lunak atau lempung lanauan dengan indeks plastisitas dan kadar air yang tinggi.	<100 (indikasi)
S2	Endapan tanah likuifiable dari clay sensitive, atau tanah lain yang tidak termasuk dalam tipe A-E atau S1	

2.8 Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi merupakan persamaan matematika sederhana yang menghubungkan antara parameter kegempaan di lokasi pusat gempa

(Magnitudo M dan jarak R) dengan parameter pergerakan tanah (spektra percepatan) pada lokasi yang ditinjau (Prawirodikromo, 2012) menyampaikan ada beberapa parameter yang berperan secara signifikan terhadap persamaan fungsi atenuasi diantaranya adalah magnitudo gempa, jarak sumber gempa, mekanisme sumber gempa dan kondisi tempat pencatatan data gempa. Perhitungan fungsi atenuasi dilakukan untuk mengestimasi tingkat guncangan tanah akibat gempa. Penentuan fungsi atenuasi didasarkan pada persamaan kondisi geologi dan tektonik dari wilayah di mana fungsi atenuasi tersebut dibuat (Nugraha dkk., 2014)

Salah satu data yang digunakan untuk menurunkan fungsi atenuasi adalah data *time history* yang diperoleh dari hasil pencatatan alat *accelerograph* saat kejadian. Beberapa peneliti telah mempublikasikan beberapa fungsi atenuasi berdasarkan dengan catatan gempa yang pernah terjadi di suatu lokasi. Di Indonesia, karena minimnya data pencatatan *time history*, pemakaian fungsi atenuasi yang diturunkan di negara lain tidak dapat dihindari. Pada pemilihan fungsi atenuasi, pada dasarnya yang paling penting adalah berdasarkan mekanisme kejadian gempa. Berikut ini merupakan pendekatan fungsi atenuasi berdasarkan sumber gempa. Persamaan Fungsi Atenuasi yang dipakai akan berbeda bergantung pada sumber gempa tersebut. Pada model sumber gempa patahan dan gempa dangkal terdapat tiga fungsi atenuasi yang dapat digunakan, antara lain sebagai berikut:

2.8.1 Boore-Atkinson (2014) NGA

Fungsi atenuasi ini berlaku untuk sumber gempa yang berada pada daerah dangkal. Model atenuasi ini merupakan hasil pengolahan dari data pencatatan gempa pada tahun 2008 ditambah dengan data pencatatan sampai tahun 2013. Jumlah data yang digunakan untuk pengembangan persamaan ini diperoleh dari lebih dari 20000 data dari 243 peristiwa gempa yang terjadi di California, Jepang, New Zealand, Taiwan dan Turkey dengan magnitudo antara 3.1 sampai $M_w = 7.6$. Parameter persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\ln Y = Fe(M, mech) + Fp(Rjb, M, region) + Fs(Vs30, Rjb, M, z1) + \epsilon \sigma(M, Rjb, Vs30) \quad (2.3)$$

untuk $M \leq M_h$

$$Fe(M, mech) = (\epsilon_0 * U) + (\epsilon_1 * SS) + (\epsilon_2 * NS) + (\epsilon_3 * RS) + \epsilon_4(M - M_h) + \epsilon_5(M - M_h)^2 \quad (2.4)$$

untuk $M > M_h$

$$Fe(M, mech) = (\epsilon_0 * U) + (\epsilon_1 * SS) + (\epsilon_2 * NS) + (\epsilon_3 * RS) + \epsilon_6(M - M_h) \quad (2.5)$$

$$p(Rjb, M, region) = [c1 + c2(M - Mref)] * \ln\left(\frac{R}{Rref}\right) + (c3 - \Delta c3)(R - Rref) \quad (2.5)$$

dengan

$$R = \sqrt{R_{jB}^2 + h^2} \quad (2.6)$$

Persamaan amplifikasi lapangan adalah

$$Fs(Vs30, Rjb, M, z1) = \ln(Flin) + \ln(Fnl) + F\delta z1 \quad (2.7)$$

Dengan Flin dan Fnl adalah berturut-turut bagian linier dan nonlinier sedangkan bergantung pada kedalaman basin dan nilai amplitudo $F\delta z1$

Pada bagian linier

Untuk $Vs30 \leq Vo$ (2.8)

$$\ln(Flin) = c * \ln\left(\frac{Vs30}{Vref}\right) \quad (2.9)$$

Untuk $Vs30 > Vo$ (2.10)

$$\ln(Flin) = c * \ln\left(\frac{Vc}{Vref}\right) \quad (2.11)$$

Pada bagian nonlinier

$$\ln(Fnl) = f1 + f2 * \ln\left(\frac{PGA_r + f3}{f3}\right) \quad (2.12)$$

dengan f1, f2 dan f3 adalah koefisien dan PGA adalah median *Peak Ground Acceleration*. Nilai f2 menunjukkan derajat nonlinearity yang nilainya bergantung pada nilai VS30. Nilai f2 dapat diturunkan dari persamaan di bawah:

$$f2 = f4[\exp\{f5(\min(Vs30, 760) - 360)\} + \exp\{f5(760 - 360)\}] \quad (2.13)$$

f4 dan f5 pada persamaan di atas merupakan koefisien.

Nilai $F\delta z1$ dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F\delta n1(\delta z1) = \begin{cases} 0; & T < 0,65 \\ f6 * \delta z1; & T \geq 0,65 \text{ dan } \delta z1 \leq f7/f6 \\ f7 & T \geq 0,65 \text{ dan } \delta z1 > f7/f6 \end{cases} \quad (2.14)$$

$$\delta z1 = z1 - \mu z1(Vs30) \quad (2.15)$$

Nilai $\mu z1$ dapat diambil dari dua contoh persamaan dibawah yang dikembangkan dari data di California dan Jepang

California:

$$\ln(\mu z1) = -\frac{7,15}{4} \ln\left(\frac{Vs30^4 + 570,94^4}{1360^4 + 570,94^4}\right) \quad (2.16)$$

Jepang

$$\ln(\mu z1) = -\frac{5,23}{4} \ln\left(\frac{Vs30^2 + 412,39^2}{1360^2 + 412,39^2}\right) \quad (2.17)$$

Keterangan :

M : Momen Magnitudo

R_{JB} : Jarak terdekat dari patahan

V_{s30} : Kecepatan gelombang geser

U : Variabel *unspecific*

SS : Variabel *strike-slip*

NS : Variabel *normal-slip*

RS : Variabel *reverse-slip* (Boore dkk., 2014)

2.8.2 Campbell-Bozorgnia (2014) NGA

Fungsi atenuasi ini berlaku untuk sumber gempa yang berada pada daerah dangkal. Jumlah data pengamatan tiga komponen gelombang gempa yang digunakan untuk mengembangkan persamaan ini adalah 15521 dari 322 peristiwa gempa. Jarak sumber gempa yang dapat digunakan dengan persamaan ini maksimum 500 Km dengan jarak bidang *rupture* antara 0 sampai 80 Km. Parameter persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\ln Y = \begin{cases} \ln PGA; & Y = PGA, T < 0,25 \\ fmag + fdis + fhng + fsite + fsed + fhyp + fdip + fattn \end{cases} \quad (2.18)$$

Dengan,

$fmag$ (fungsi yang nilainya bergantung pada besarnya magnitude)

$$fmag = \begin{cases} Co + C1M; & M \leq 4,5 \\ Co + C1M + C2M(M - 4,5); & 4,5 < M \leq 5,5 \\ Co + C1M + C2(M - 4,5) + C3(M - 5,5); & 5,5 < M \leq 6,5 \\ Co + C1M + C2(M - 4,5) + C3(M - 5,5) + C4(M - 6,5); & M \geq 6,5 \end{cases} \quad (2.19)$$

$fdis$ (fungsi kebergantungan pada sumber ke site)

$$fdis = (C5 + C6M) \ln(\sqrt{R^2 r_{rup}} + C7^2) \quad (2.20)$$

$fflt$ (fungsi kebergantungan pada style faulting)

$$fflt = fflt.F + fflt.M \quad (2.21)$$

$$fflt = C8Frv + C9Fnm \quad (2.22)$$

$$fflt = \begin{cases} 0; & m < 4,5 \\ M; & 4,5 \leq M \leq 5,5 \\ 1; & M \leq 5,5 \end{cases} \quad (2.23)$$

$fhng$ (fungsi kebergantungan pada efek *hanging wall*)

$$fhng = C10 \times fhng.r \times fhng.Rrup \times fhng.M \times fhng.Z \times fhng.\delta \quad (2.24)$$

$$fhng = \begin{cases} 0; & Rx < 0 \\ f1(Rx); & 0 < Rx < R1 \\ \max[f2(Rx), 0]; & Rx \geq R1 \end{cases} \quad (2.25)$$

$$f1(Rx) = h1 + h2 \left(\frac{Rx}{R1}\right) + h3 \left(\frac{Rx}{R1}\right)^2 \quad (2.26)$$

$$f2(Rx) = h4 + h5 \left(\frac{Rx-R1}{R2-R1}\right) + h6 \left(\frac{Rx-R1}{R2-R1}\right)^2 \quad (2.27)$$

$$R1 = W \cos(\delta) \quad (2.28)$$

$$R1 = 62M - 350 \quad (2.29)$$

$$fhng.Rrup = \begin{cases} 1; & M \leq 5,5 \\ (M - 5,5)[1 + a2(M - 6,5)]; & 5,5 < M \leq 6,5 \\ 1 + a2(M - 6,5); & M > 6,5 \end{cases} \quad (2.30)$$

$$fhng.z = \begin{cases} 1 - 0,06Ztor; & Ztor \leq 16,66 \\ 0; & Ztor \geq 216,66 \end{cases} \quad (2.31)$$

$$fhng.\delta = \frac{90-\delta}{45} \quad (2.32)$$

fsite (fungsi kebergantungan pada kondisi site)

$$fsite = fsite.G + Sj fsitej \quad (2.33)$$

fsite.G

$$= \begin{cases} C11 \ln\left(\frac{Vs30}{k1}\right) + k2 \left\{ \ln\left[A1100 + C \left(\frac{Vs30}{k1}\right)^n\right] - \ln[A1100 + C] \right\}; & Vs30 \leq k1 \\ (C11 + k2n) \ln\left(\frac{Vs30}{k1}\right); & Vs30 > k1 \end{cases} \quad (2.34)$$

$$fsite.J = \begin{cases} (C12 + k2n) \left[\ln\left(\frac{Vs30}{k1}\right) - \ln\left(\frac{200}{k1}\right) \right]; & Vs30 \leq 200 \\ (C13 + k2n) \ln\left(\frac{Vs30}{k1}\right); & All Vs30 \end{cases} \quad (2.35)$$

fsed = fungsi kebergantungan pada kondisi basin

$$fsed = \begin{cases} (C14 - C15Sj)(Z2,5 - 1); & Z2,5 < 1 \\ 0; & 1 \leq Z2,5 \leq 3 \\ C16k3e^{-0,75} [1 - \exp(-0,25(Z2,5 - 3))]; & Z2,5 > 3 \end{cases} \quad (2.36)$$

fhyp = fungsi kebergantungan pada jarak *hypocentral*

$$fhyp = fhyp.h + fhyp.M \quad (2.37)$$

$$fhyp.h = \begin{cases} 0; & Zhyp \leq 7 \\ Zhyp - 7; & 7 < Zhyp \leq 10 \\ 13; & Zhyp > 6,5 \end{cases} \quad (2.38)$$

$$f_{hyp}.M = \begin{cases} C17; & M \leq 5,5 \\ [C17 + (C18 - C17)(M - 5,5)]; & 5,5 < M \leq 6,5 \\ C18; & M > 6,5 \end{cases} \quad (2.39)$$

f_{dip} = fungsi kebergantungan pada sudut dip

$$f_{dip} = \begin{cases} C19\delta; & M \leq 4,5 \\ C19(5,5 - M)\delta; & 4,5 < M \leq 5,5 \\ 0; & M > 5,5 \end{cases} \quad (2.40)$$

f_{attn} = fungsi kebergantungan pada *unelastic attenuation*

$$f_{attn} = \begin{cases} (C20 + \Delta C20)(R_{rup} - 80); & R_{rup} > 80 \\ 0; & R_{rup} \leq 80 \end{cases} \quad (2.41)$$

Keterangan :

M : Momen Magnitudo

R_{RUP} : Jarak terdekat terhadap bidang *rupture* (Km)

R_{JB} : Jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari bidang *rupture* (Km)

R_X : Jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari ujung atas dari bidang *rupture* (Km)

W : *down-dip width* dari bidang *rupture* (Km)

Z_{tor} : kedalaman dari puncak bidang *rupture* (Km)

δ : sudut dip rata-rata dari bidang runtuh ($^{\circ}$)

V_{S30} : kecepatan geser rata-rata dari lapisan sampai kedalaman 30 meter (m/s)

A_{1100} : nilai perkiraan median dari PGA pada lapisan batuan yang memiliki nilai $V_{S30} = 1100$ m/s (g)

SJ : indicator variable yang menunjukkan pengaruh dari kondisi regional dimana nilai $SJ = 1$ untuk daerah Jepang dan $SJ = 0$ untuk daerah lain.

$Z2.5$: kedalaman sediment yang memiliki kecepatan rambat gelombang geser 2.5 Km/s

Z_{hyp} : kedalaman hypocentral dari gempa (Km)

$C1-C20$: koefisien (Campbell dan Bozorgnia, 2014)

2.8.3 Chiou-Youngs (2014) NGA

Fungsi atenuasi ini berlaku untuk sumber gempa yang berada pada daerah dangkal. Fungsi atenuasi ini juga digunakan pada batuan dasar yang belum teridentifikasi. Parameter persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
& \ln(Y_{refij}) \\
& = C1 + \left\{ C1a + \frac{C1c}{\cosh(2 \max(Mi - 4.5, 0))} \right\} Frv \\
& + \left\{ C1b + \frac{C1d}{\cosh(2 \max(Mi - 4.5, 0))} \right\} F_{nmi} \\
& + \left\{ C7 + \frac{C1b}{\cosh(2 \max(Mi - 4.5, 0))} \right\} \Delta Z_{tori} \\
& + \left\{ C11 + \frac{C11b}{\cosh(2 \max(Mi - 4.5, 0))} \right\} (\cos \delta i)^2 \\
& + C2 \ln(Rrupij + C5 \cosh(C6 \cdot \max(M1 - Chm, 0))) \\
& + (C4a + C4) \ln(\sqrt{R^2rupij + Crb^2}) \\
& + \left\{ Cy1 + \frac{Cy2}{\cosh(\max(Mi - Cy3, 0))} \right\} \cdot Rrupij \\
& + C8 \max \left(1 \right. \\
& \quad \left. - \frac{\max(Rrupij - 40, 0)}{30} \right) \min \left(\frac{\max(Mi - 5.5, 0)}{0.8}, 1 \right) e^{C9a (Mi - C9b)} \Delta DPPij \\
& + C9 \cdot FMwij \cdot \cos \delta i \{ C9a \\
& + (1 - C9a) \tanh \left(\frac{Rrupij}{2} \right) \} \left\{ 1 - \frac{\sqrt{Rjbj^2 + Ztori^2}}{Rrupij + 1} \right\}
\end{aligned} \tag{2.42}$$

$$\begin{aligned}
& \ln(Y_{ij}) = \\
& \ln(Y_{refij}) + 0.1 \cdot \min \left(\ln \left(\frac{Vs30j}{1130} \right), 0 \right) + 0.2 \cdot \left\{ e^{0.3(\min(Vs30j, 1130) - 360)} - \right. \\
& \quad \left. e^{0.3(1130 - 360)} \right\} \cdot \ln \left(\frac{Y_{refij} e^{n1 + 0.4}}{0.4} \right) + 0.5 \cdot \left\{ 1 - e^{\left(\frac{\Delta Z}{0.6} \right)} \right\} + n1
\end{aligned} \tag{2.43}$$

Keterangan :

M : Momen Magnitudo

R_{RUP} : Jarak terdekat dari patahan ke site

R_{JB} : Jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari bidang *rupture* (Km)

R_X : Jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari ujung atas dari bidang *rupture* (Km)

F_{HW} : Hanging wall flag

F_{RV} : Variabel *representing reverse* (reverse-oblique)

F_{NM} : Variabel *representing normal* (normal-oblique)

δ : Kemiringan sudut

V_{S30} : Kecepatan gelombang geser (Chiou dan Youngs, 2008)

2.8.4 Grazier Kalkan (2015)

Persamaan ini diperoleh dari analisa empiris dengan mempertimbangkan beberapa parameter seperti magnitudo, jarak hiposenter, dan kedalaman yang semuanya dikumpulkan dalam database *strong motion*. Persamaan ini memberikan pengukuran intensitas gerakan tanah seperti gerakan tanah maksimum atau respon spectra sebagai fungsi dari magnitudo dan jarak gempa bumi, penting untuk menganalisis seismic hazard. Dalam analisa. Berikut merupakan persamaan Grazier Kalkan.

$$PGA = G1 \times G2 \times G3 \times G4 \times G5 \quad (2.44)$$

$$\ln(PGA) = \ln(G1) + \ln(G2) + \ln(G3) + \ln(G4) + \ln(G5) + \sigma \ln(PGA) \quad (2.45)$$

$$\ln(G1) = \ln\{[C1 \times \arctan(M+C2)+C3] \times F\} \quad (2.46)$$

$$\ln(G2) = -0,5 \times \ln[(1 - R/R_0)^2 + 4 \times (D0)^2 \times (R/R_0)] \quad (2.47)$$

dimana

$$R0 = C4 \times M + C5 \quad (2.48)$$

$$D0 = C6 \times \cos[C7 \times (M + C8)] + C9 \quad (2.49)$$

$$\ln(G3) = -C10 \times R/Q_0 \quad (2.50)$$

$$\ln(G4) = b_v \times \ln(V_{s30}/V_a) \quad (2.51)$$

$$\ln(G5) = \ln(1 + A_{bdist} \times A_{bdepth})$$

dimana

$$A_{bdepth} = C11 \times 1 \sqrt{\left\{1 - \left[\frac{C12}{Bdepth+0,1}\right]^2\right\}^2 + 4 \times C13^2 \times \left[\frac{1,5}{Bdepth+0,1}\right]^2} \quad (2.52)$$

$$A_{bdist} = \frac{1}{\sqrt{\left\{1 - \left[\frac{C14}{R+0,1}\right]^2\right\}^2 + 4 \times C13^2 \times \left[\frac{40}{R+0,1}\right]^2}} \quad (2.53)$$

Dimana

M = Besar Magnitudo gempa

R = Jarak terdekat dengan dari patahan terhadap titik pengamatan (km)

V_{s30} = Rata-rata kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 m (m/s)

Bdepth = kedalaman cekungan di bawah situs dalam kilometer

F = Model patahan

F = 1.0 untuk strike-slip dan sesar normal

F = 1,28 untuk sesar terbalik

F = 1,14 untuk kombinasi strike-slip dan reverse faulting (Graizer dan Kalkan, 2016)

2.9 Peak Ground Acceleration

Peak ground acceleration merepresentasikan tingkat besarnya percepatan tanah di batuan dasar. Gerakan tanah yang terjadi pada lapisan bawah tanah atau batuan padat, karakteristiknya dijelaskan menggunakan parameter amplitudo yaitu percepatan tanah maksimum, kecepatan tanah

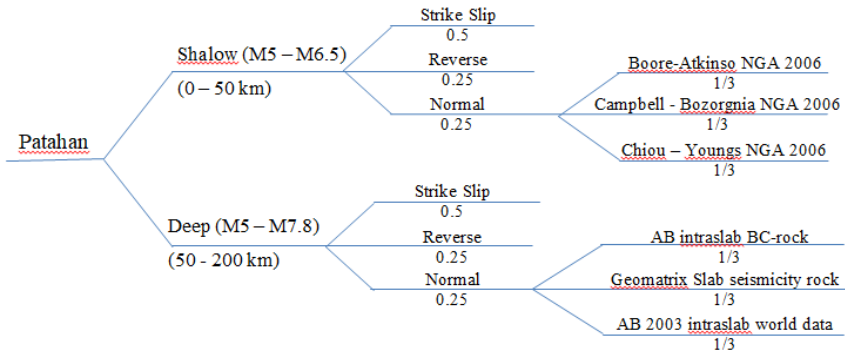
maksimum dan pergeseran maksimum (PGA). PGA dinyatakan dalam satuan percepatan gravitasi (*Gravitational Acceleration* = gal) atau cm/s². Nilai percepatan tanah maksimum yang dihasilkan menunjukkan tingkat resiko bencana yang terjadi. Dua metode untuk menentukan nilai PGA, yaitu melalui pengukuran alat (accelerograf) dan perhitungan empiris. Pendekatan metode empiris tidak selalu benar, namun cukup memberikan gambaran umum tentang percepatan tanah maksimum (Ibrahim, 2005)

Sudah sejak lama nilai percepatan tanah maksimum dijadikan salah satu parameter untuk menyatakan kekuatan suatu gempa bumi. (Kramer, 1996) mengatakan bahwa percepatan tanah akibat gempabumi itu akan menunjukkan gaya inersia yang akan bekerja pada massa struktur. Gaya inersia yang dimaksud adalah gaya yang timbul pada bangunan karena kecenderungan massa bangunan untuk mempertahankan dirinya. Namun hasil ini harus disesuaikan dengan keadaan geologi serta karakteristik dari zona seismik lokasi yang dijadikan daerah penelitian.

PGA atau percepatan tanah maksimum merupakan parameter yang paling sering digunakan untuk menentukan gerakan tanah akibat gempa. Sebagaimana parameter gempa yang lain, percepatan tanah juga akan mengalami atenuasi, yaitu berkurangnya nilai parameter gempa misalnya percepatan tanah karena jarak. Selain berkurangnya parameter karena jarak, proses atenuasi dipengaruhi pula oleh beberapa hal seperti magnitudo gempa, mekanisme sumber gempa, dan kondisi site.

2.10 Logic Tree

Logic Tree pertama kali diperkenalkan untuk analisis *seismic hazard* oleh (Kulkarni et al., 1984) dan menjadi alat yang populer pada analisis *seismic hazard*. Logic Tree ini memperhitungkan seluruh ketidakpastian dalam menentukan parameter-parameter dalam analisis *hazard* gempa dengan menggunakan probabilitas, antara lain yaitu fungsi atenuasi, pemilihan *recurrence model*, *reccurence rate*, dan magnitudo maksimum. Dengan menggunakan metode logic tree ini kebebasan dalam menggunakan berbagai model lebih dapat dikontrol tingkat keakuratannya karena logic tree memberikan faktor bobot yang berbeda-beda untuk masing-masing model. Sehingga antara model satu dengan model yang lainnya dapat dilakukan komparasi akurasi. Dengan menggunakan metode logic tree ini setiap alternatif yang dipilih dalam menentukan parameter-parameter tersebut diberi suatu bobot yang menggambarkan tingkat kepercayaan terhadap parameter yang digunakan. Jumlah faktor bobot dari semua alternatif metode untuk parameter yang sama harus sama dengan satu (Nugraha dkk., 2014). Gambar di bawah ini merupakan bentuk dari logic tree.



Gambar 2.4 Logic Tree Perhitungan dengan Sumber Gempa Patahan

2.11 *Deterministik Seismik Hazard Analysis (DSHA)*

Deterministic Seismic Hazard Analysis (DSHA) banyak digunakan pada periode awal dari perhitungan seismic hazard. Konsep dasar DSHA adalah menentukan parameter ground motion dengan menggunakan magnitudo gempa maksimum dan jarak sumber gempa yang paling dekat dari titik pengamatan. DSHA diimplementasikan dengan menentukan skenario parameter gempa dengan cara memilih magnitudo maksimum dan lokasi terdekat dari sumber gempa yang diperkirakan akan menghasilkan dampak pada titik pengamatan (Windu dkk., 2015).

Secara umum metode pendekatan DSHA dapat dibagi menjadi 4 tahapan yaitu: melakukan identifikasi terhadap sumber-sumber gempa yang kemungkinan akan berpengaruh pada lokasi pengamatan, menentukan skenario parameter gempa dengan cara memilih magnitudo maksimum dan lokasi terdekat dari sumber gempa yang diperkirakan akan menghasilkan dampak pada lokasi pengamatan, menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan fungsi atenuasi dan menentukan parameter gerakan tanah yang terbesar yang direncanakan akan terjadi pada lokasi pengamatan. DSHA dilakukan dengan menentukan parameter gerakan tanah pada lokasi pengamatan dengan menggunakan fungsi atenuasi (Irsyam, 2010).

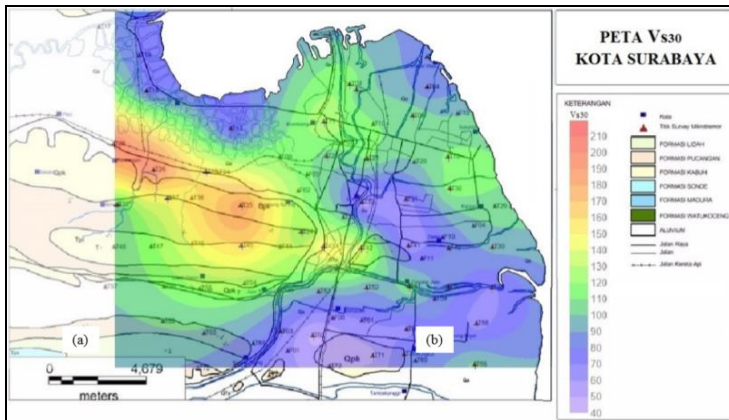
Metode DSHA ini memungkinkan untuk memperhitungkan pengaruh faktor-faktor ketidakpastian dalam analisis seperti ukuran, lokasi dan frekuensi kejadian gempa (Irsyam dkk., 2012). Kelebihan metode ini adalah mudah digunakan untuk memprediksi gerakan gempa pada skenario terburuk. Sedangkan kelemahannya adalah metode ini tidak mempertimbangkan

probabilitas terjadinya gempa dan pengaruh berbagai ketidakpastian yang terkait dalam analisis(Kramer, 1996)

2.12 Penelitian Terdahulu

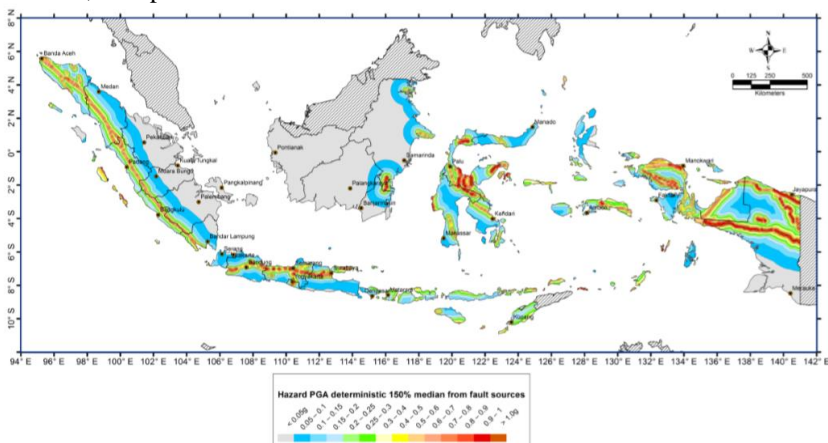
Analisis mikrotremor di wilayah Surabaya sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Nizar Dwi Riyantyo (2017) dalam penelitiannya berjudul Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Analisa Mikrotremor (Studi Kasus: Patahan Lokal Sungai Surabaya). Metode yang digunakan dalam studi ini analisa Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) untuk mendapatkan nilai frekuensi dominan kemudian akan diintegrasikan dengan nilai Vs30 untuk mendapatkan nilai kedalaman sedimen dan pada penelitian ini akan digunakan inversi HVSR untuk menggambarkan kondisi patahan lokal sungai Surabaya, sehingga dapat memprediksi zona bahaya disekitar patahan lokal sungai Surabaya. Hasil penelitian patahan lokal sungai Surabaya didapatkan nilai frekuensi dominan 2,1 Hz - 4 Hz, kedalaman sedimen 15 m – 80 m, kecepatan geser lapisan 50 m/s – 800 m/s. Hasil model bawah permukaan menunjukkan bahwa sungai Surabaya terbentuk oleh patahan turun mengarah utara – selatan dan terlihat kemenrusannya(Riyantiyo, 2017)

Penelitian mengenai estimasi kecepatan gelombang geser (Vs30) di kota Surabaya sebelumnya telah dilakukan oleh Mufida, dkk (2013) pada penelitiannya yang berjudul Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor. Didapatkan kesimpulan bahwa wilayah Surabaya memiliki rata-rata nilai Vs yang rendah, yaitu sekitar 50-300 m/s yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Kecepatan gelombang geser rendah (<150 m/s) semakin menebal menuju arah Utara dan arah Selatan, sedangkan bagian tengah arah Barat lapisan dengan Vs rendah tipis. Daerah sepanjang Surabaya bagian Timur sampai Surabaya bagian Utara memiliki nilai frekuensi natural yang rendah, amplifikasi tinggi dan nilai Vs30 yang rendah, sehingga bisa dikatakan bahwa daerah tersebut merupakan daerah yang rentan terhadap kerusakan akibat gempa(Mufida dkk., 2013)



Gambar 2.5 Peta persebaran Vs30 kota Surabaya (Mufida dkk., 2013)

Selain itu, penelitian mengenai estimasi *Peak Ground Acceleration* dengan menggunakan data mikrotremor juga pernah dilakukan oleh Febriani dkk. (2013) dalam jurnal ilmiah mengenai Analisis Nilai *Peak Ground Acceleration* dan Indeks Kerentanan Seismik berdasarkan Data Mikroseismik pada Daerah Rawan Gempabumi di kota Bengkulu. Sehingga diperoleh Nilai peak ground acceleration (PGA) daerah Kota Bengkulu mulai dari 292 gal sampai 852 gal (tingkat resiko besar tiga sampai tingkat resiko sangat besar dua). Nilai peak ground acceleration (PGA) yang tinggi didominasi oleh formasi bintunan dan batu gamping terumbu, sedangkan nilai percepatan getaran tanah yang lebih rendah dari formasi bintunan didominasi oleh alluvium, endapan rawa dan undak alluvium.



Gambar 2. 6 Peta Bahaya Gempa deterministik PGA di batuan dasar akibat sumber gempa sesar dangkal dengan 84 percentile (150% median)

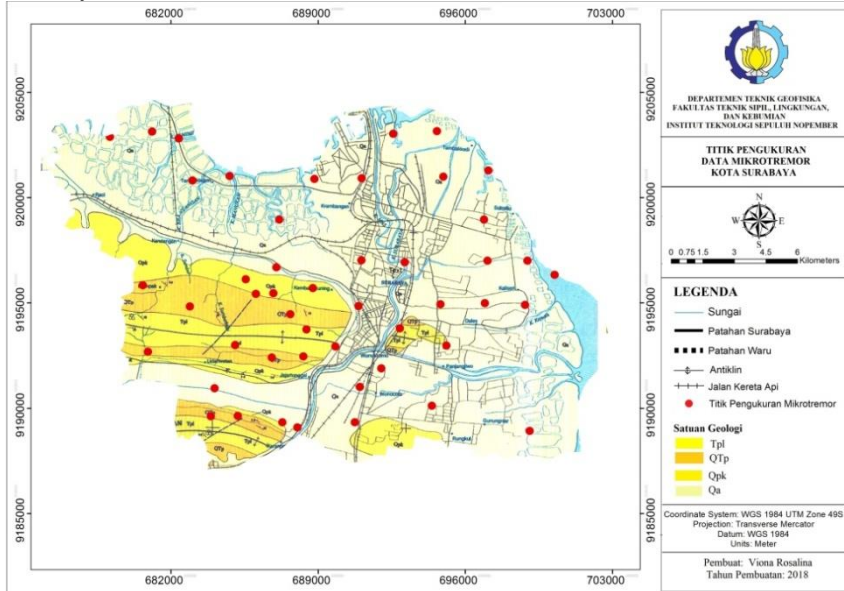
Penelitian mengenai *Deterministic Seismic Hazard Assesment* (DSHA) telah dilakukan oleh PUSGEN (2017) pada penelitian berjudul Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Penelitian tersebut mengenai pemetaan kemungkinan bahaya guncangan atau vibrasi akibat gempa yang didasarkan pada hasil riset dan penelitian sains kebumihantropologi serta rekayasa bangunan merupakan alat yang sangat efektif untuk digunakan sebagai usaha untuk mengurangi resiko bencana akibat vibrasi atau guncangan akibat gempa. Dalam metode DHSA, pendapat subjektif para ahli selalu diikutsertakan dalam pengambilan keputusan untuk penentuan potensi bahaya gempa. Penelitian tersebut dihasilkan nilai PGA di batuan dasar akibat sumber gempa sesar dangkal diperoleh nilai PGA berkisar 0.05 g – 1 g dengan nilai PGA di wilayah Surabaya berkisar 0.7 g – 1 g. Daerah-daerah yang memiliki maksimum magnitudo 6.5 atau lebih dan berada didekat kota besar memerlukan riset yang lebih detail, mendalam, dan lengkap terutama di Pulau Jawa.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Januari hingga Mei 2018 bertempat di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder pengukuran mikrotremor di Surabaya. Proses pengambilan data pada penelitian ini dilakukan di beberapa titik pada wilayah Surabaya.



Gambar 3.1 Titik Pengukuran Mikrotremor Wilayah Surabaya

3.2 Peralatan Penelitian

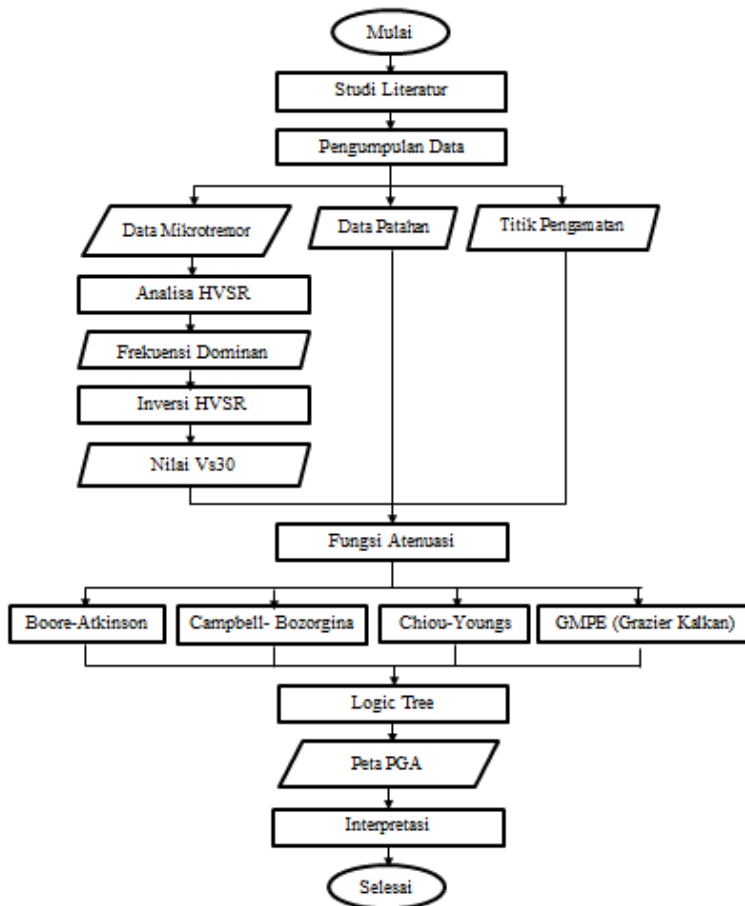
Pada proses pengolahan data diperlukan perangkat lunak yang memadai untuk memproses data yang diperoleh. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Software EasyHVSRun* untuk pengolahan data rekaman mikrotremor menjadi kurva rasio *horizontal to vertical* yang selanjutnya digunakan untuk perhitungan frekuensi natural dan amplifikasi
- Software OpenHVSRun* untuk pengolahan inversi kurva HVSRun menjadi dugaan penampang bawah permukaan guna mengetahui nilai kecepatan gelombang geser dengan ketebalannya.
- Software Ms. Excel 2010* untuk penyimpanan file serta perhitungan nilai kecepatan gelombang geser.

- d. *Software* Arc Map 10.3.1 untuk pengolahan data spasial serta *mapping* persebaran nilai dari parameter tertentu.
- e. *Software* MATLAB 2017 untuk perhitungan nilai dari beberapa parameter dengan rumusan tertentu

3.3 Tahapan Penelitian

Setelah diperoleh data, dilakukan proses pengolahan data yang meliputi beberapa tahapan dari awal studi literatur hingga mendapatkan hasil yang diharapkan. Tahapan-tahapan tersebut dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

3.4 Data Penelitian

3.4.1 Data Mikrotremor

Pada penelitian ini digunakan data pengukuran mikrotremor sebanyak 51 titik yang tersebar di seluruh wilayah Surabaya. Dalam penelitian ini digunakan dua data sekunder yakni data yang dimiliki oleh Departemen Teknik Geofisika dan data yang digunakan pada penelitian Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Analisa Mikrotremor, (Studi Kasus: Patahan Lokal Sungai Surabaya (Riyantiyo, 2017)). Berikut merupakan data titik pengukuran yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3. 1 Titik Pengukuran oleh Departemen Teknik Geofisika

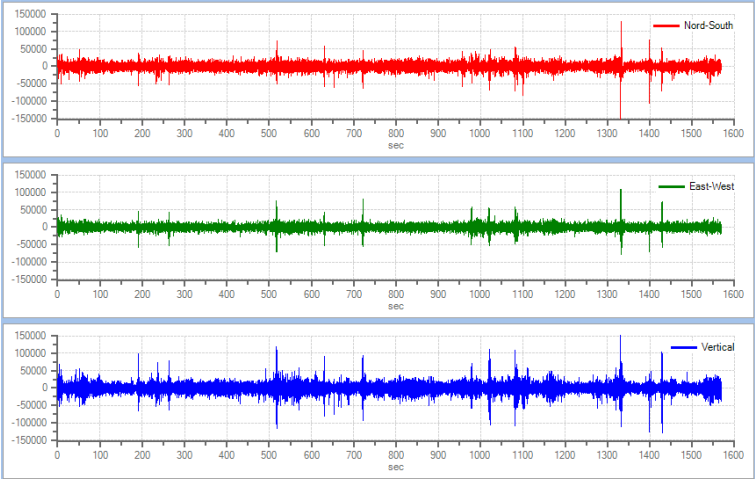
No	Nama Titik	X	Y
1	SBY009	679117	9202886
2	SBY010	681122	9203143
3	SBY011	682389	9202819
4	SBY014	692587	9203033
5	SBY015	694663	9203164
6	SBY021	683042	9200816
7	SBY022	684802	9201029
8	SBY024	688836	9200897
9	SBY025	691086	9200926
10	SBY027	694975	9201002
11	SBY028	697112	9201292
12	SBY034	687164	9198964
13	SBY039	696901	9198958
14	SBY048	691073	9197025
15	SBY049	693135	9196934
16	SBY051	697076	9197011
17	SBY052	698972	9197013
18	SBY053	700267	9196333
19	SBY063	694838	9194937
20	SBY064	696950	9194995
21	SBY065	698860	9194907
22	SBY084	684090	9190945

23	SBY087	691004	9191015
24	SBY099	690758	9189334
25	SBY103	699081	9188919
26	SBY105	683072	9187202
27	SBY108	691117	9187115

Tabel 3. 2 Titik Pengukuran oleh peneliti sebelumnya (Riyantiyo, 2017)

No	Nama Titik	X	Y
1	TA 01	695114	9192980
2	TA 04	692898	9193791
3	TA 11	686889	9195468
4	TA 12	685569	9196130
5	TA 13	682912	9194836
6	TA 14	680262	9190339
7	TA 14	690942	9194857
8	TA 17	688765	9195702
9	TA 18	687036	9196695
10	TA 19	694428	9190115
11	TA 21	692018	9191896
12	TA 27	688459	9193740
13	TA 28	685070	9192997
14	TA 29	686809	9192410
15	TA 30	689836	9192931
16	TA 31	680923	9192683
17	TA 32	687697	9194469
18	TA 33	686059	9195432
19	TA 36	688312	9192460
20	TA 37	685189	9189640
21	TA 42	688030	9189093
22	TA 44	687319	9189331
23	TA 48	683911	9189615
24	TA 53	680678	9195845

Penggunaan dua sumber data tersebut ditujukan untuk memperoleh sampel data yang baik sehingga diperlukan data pendukung yang bersumber dari penelitian sebelumnya. Data mikrotremor berupa data rekaman getaran tanah dalam fungsi waktu dari arah vertikal, North-South, dan East-West. Salah satu contoh data hasil rekaman mikrotremor yakni data pada titik SBY079 dengan koordinat UTM 700332,9193068 sebagai berikut.



Gambar 3. 3 Data mikrotremor di titik SBY065

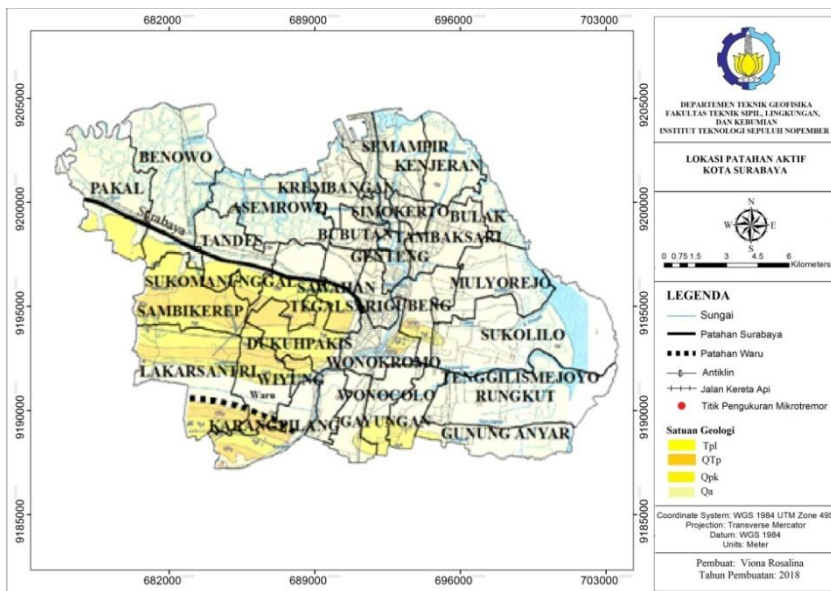
3.4.1 Data Patahan

Pada metode deterministik, untuk mendapatkan peta persebaran nilai *Peak Ground Accelaration* diperlukan data pendukung berupa data patahan yang terdapat di wilayah Surabaya. Berikut merupakan data patahan aktif di wilayah Surabaya.

Tabel 4 1 Patahan aktif di wilayah Surabaya

No.	Segmen	Tipe	Strike	Dip	Magnitudo	Panjang (km)
1	Waru	Reverse	EW	45S	6.5	64
2	Surabaya	Reverse	ESE	45S	6.5	25

Kedua patahan tersebut membujur di bagian tengah dan selatan kota Surabaya yang dapat dilihat pada gambar berikut.

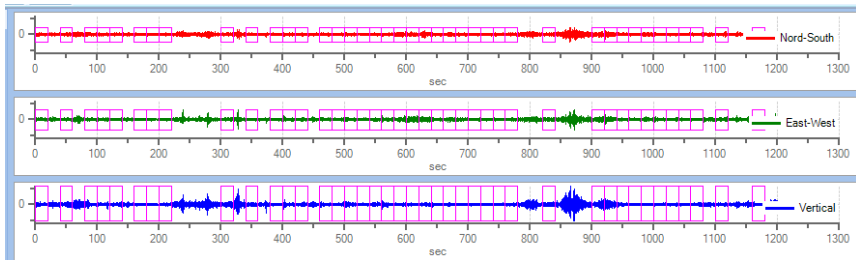


Gambar 3.4. Patahan Surabaya (garis lurus) dan Waru (garis putus-putus) yang melintasi kota Surabaya

3.5 Pengolahan Data

3.5.1 Analisa HVSR

Hasil pengukuran mikrotremor berupa data rekaman getaran tanah dalam fungsi waktu dari arah vertical, North-South, dan East-West. Data rekaman tersebut akan dilakukan analisis HVSR untuk mendapatkan nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Proses pengolahan diawali dengan filter untuk menghindari bagian dari rekaman yang merupakan transient noise. Kemudian ambien noise dibagi dalam window waktu. Pada dua data komponen horisontal EW dan NS dan satu data komponen vertikal. Penggabungan kedua data horisontal, biasanya dilakukan berdasarkan kaidah Phytagoras dalam fungsi frekuensi. Berikut merupakan contoh dari pengolahan data mikrotremor dengan menggunakan *software EasyHVSR* pada titik SBY065.



Gambar 3. 5 Pemilihan windows pada data mikrotremor di titik SBY065

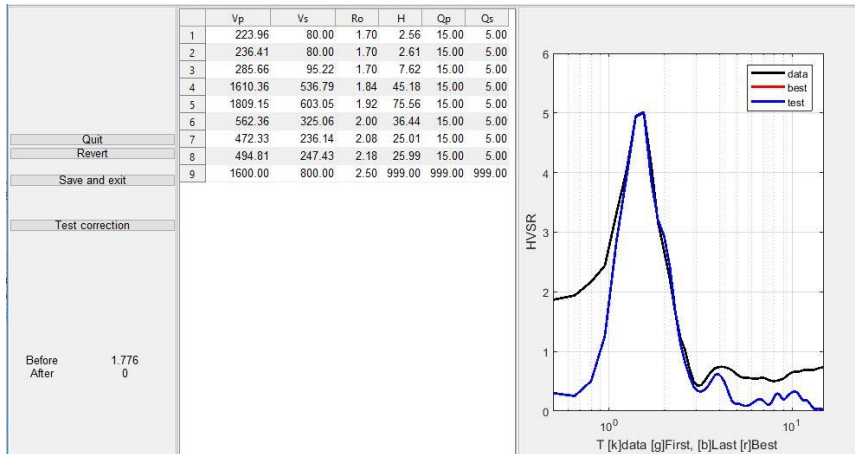
Pada titik SBY065 dilakukan pemilihan window untuk setiap 20s sehingga diperoleh 38 windows sinyal stasioner untuk menghindari transient noise. Metode HVSr dilakukan dengan pemisahan dengan window waktu tertentu. Pada penelitian ini dilakukan pemilihan window untuk setiap 20s. Kemudian dilakukan estimasi rasio spektrum Fourier komponen vertikal terhadap komponen horizontal dan mengubahnya dari fungsi waktu menjadi domain frekuensi. Rasio spektrum pada tiap window dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai frekuensi natural dan nilai amplifikasi. Dilakukan smoothing Konno Ohmachi dengan koefisien bandwidth 40. Puncak tertinggi kurva HVSr dianggap sebagai frekuensi natural tanah dan amplifikasi pada titik pengukuran tersebut. Frekuensi natural setempat merupakan frekuensi pada rasio HVSr puncak pertama, sedangkan rasio HVSr pada frekuensi natural merupakan nilai amplifikasi geologi setempat (SESAME, 2004)

3.5.2 Inversi HVSr

Proses inversi kurva HVSr dilakukan untuk mendapatkan parameter bawah permukaan. Data yang digunakan pada proses inversi merupakan hasil pemodelan kedepan. Model tersebut diharapkan mampu menghasilkan respon yang cocok dengan data hasil pengukuran di lapangan (Grandis, 2009). Dalam pemodelan data dibutuhkan beberapa parameter yakni V_p , V_s , ρ , H , Q_p , dan Q_s . Pada proses penentuan parameter tersebut, dibutuhkan data bor N-SPT sebagai acuan. Data yang digunakan merupakan N-SPT yang telah dilakukan di Gunung Anyar dan perumahan Citraland. Data Gunung Anyar dapat mewakili kondisi geologi daerah Aluvium sementara data Citraland mewakili kondisi geologi Antiklin.

Penentuan nilai V_p digunakan asumsi bahwa $V_p = 2V_s$. Sementara itu dalam penentuan nilai V_s tebakan awal didapatkan dari konversi dengan persamaan 2.2 (Fauzi dkk., 2014). Sementara untuk penentuan nilai ρ digunakan acuan berdasarkan nilai N-SPT. Selain parameter model awal, juga dibutuhkan data nilai frekuensi dan amplifikasi hasil dari analisa HVSr pada tahapan sebelumnya. Proses inversi dilakukan dengan *software* OpenHVSr yang berbasis MATLAB. Sehingga diperlukan *script* project berisikan input data yang dibutuhkan. Proses pengolahan dimulai dengan *running* GUI

MATLAB Program OpenHVSr. Setelah memasukkan *project* yang telah dibuat, dilakukan penentuan parameter inversi berupa V_p , V_s , ρ , Q_p , dan Q_s model awal. Kemudian dilakukan proses inversi sehingga diperoleh nilai V_p , V_s , h , ρ , Q_p , dan Q_s hasil perhitungan. Salah satu contoh hasil inversi HVSr yakni pada titik pengukuran SBY065 seperti pada gambar berikut.



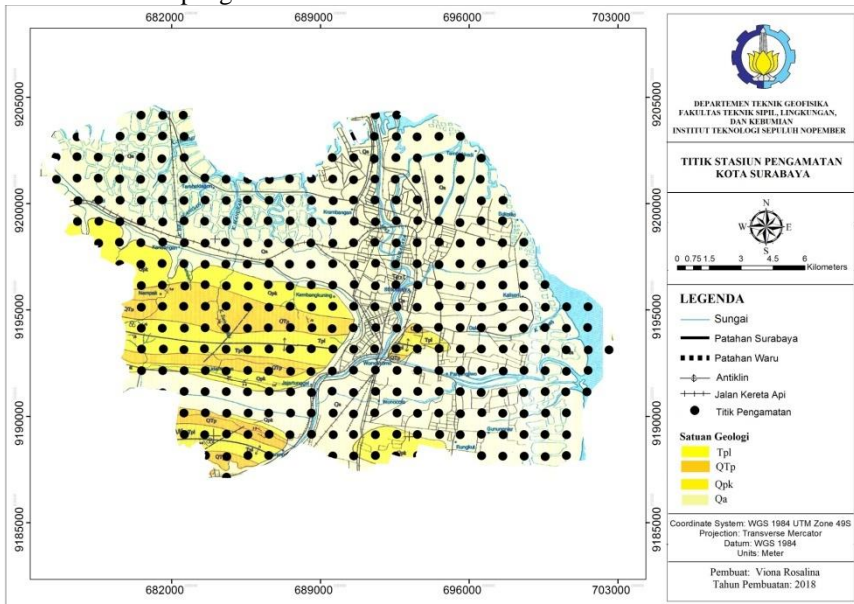
Gambar 3. 6 Kurva Hasil Inversi pada Titik SBY065.

3.5.3 Perhitungan Nilai V_{s30}

Proses perhitungan nilai V_{s30} dilakukan untuk mendapatkan nilai rata-rata kecepatan geser pada lapisan sedimen hingga ketebalan 30m. Dalam penentuannya dibutuhkan nilai V_s dan ketebalan pada lapisan sedimen. Nilai ini didapatkan dari hasil inversi HVSr yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya. Perhitungan dilakukan dengan persamaan 2.1 sehingga diperoleh nilai V_{s30} pada titik tersebut. Setelah diperoleh nilai V_{s30} pada titik pengukuran mikrotremor, dilakukan proses pemetaan untuk mendapatkan peta nilai V_{s30} pada daerah Surabaya. Proses pemetaan dilakukan dengan *software* ArcGis sehingga diperoleh peta V_{s30} dalam bentuk raster. Kemudian peta tersebut diekstrak berdasarkan titik stasiun pengamatan untuk mendapatkan nilai V_{s30} pada setiap titik pengamatan. Sehingga diperoleh nilai V_{s30} pada tabel *shapefile* titik stasiun pengamatan. Nilai V_{s30} ini kemudian digunakan untuk perhitungan fungsi atenuasi pada tahapan selanjutnya.

3.5.4 Penentuan Titik Stasiun Pengamatan

Titik Stasiun Pengamatan di wilayah Surabaya ditentukan dengan menggunakan *software* ArcMap. Data yang dibutuhkan yakni *shapefile* kota Surabaya dan peta wilayah Surabaya. Proses ini diawali dengan *Georeferencing* peta wilayah Surabaya yang kemudian di *overlay* dengan *shapefile*. Sehingga dihasilkan peta yang sesuai dengan target yakni wilayah Surabaya. Selanjutnya ditentukan batas dari *project* tersebut dengan *clipping* terhadap *shapefile*. Kemudian dilakukan penentuan titik stasiun menggunakan *gridding* untuk mendapatkan garis acuan dengan *interval* 1km. Sehingga dapat dilakukan digitasi titik stasiun pengamatan dengan membuat *shapefile point* baru. Dari proses tersebut didapatkan koordinat titik stasiun pengamatan dengan melakukan *calculate geometry* tabel atribut pada *shapefile* titik stasiun pengamatan. Sehingga diperoleh koordinat untuk setiap titik yakni sejumlah 324 titik stasiun pengamatan.



Gambar 3.7 Titik Stasiun Pengamatan Surabaya

3.5.5 Penentuan Koordinat Patahan

Data yang dibutuhkan dalam penentuan koordinat patahan merupakan data *shapefile* patahan yang akan diolah dengan *software* ArcMap. Pada penelitian ini, diperoleh data *shapefile polyline* patahan Jawa yang berisi *polyline* patahan di seluruh Jawa termasuk patahan Surabaya dan patahan

Waru. Dari data atribut *shapefile* tersebut, dipilih baris patahan Surabaya dan patahan Waru untuk di *export* ke dalam bentuk *shapefile*. Kemudian dilakukan *feature to point* sehingga didapatkan *polyline* terbagi menjadi beberapa titik dengan interval tertentu yang otomatis muncul pada tabel atribut. Pada patahan Surabaya diperoleh 29 titik sementara pada patahan Waru diperoleh 155 titik. Pada tabel atribut *shapefile* masing-masing patahan dapat ditambahkan kolom sehingga dilakukan *calculate geometry* untuk koordinat x dan y. Sehingga didapatkan koordinat patahan untuk kemudian dapat digunakan untuk proses selanjutnya.

3.5.6 Perhitungan Jarak Stasiun Terhadap Patahan

Pada perhitungan nilai *Peak Ground Acceleration* dibutuhkan data jarak titik stasiun pengamatan ke patahan. Data yang dibutuhkan untuk proses ini adalah koordinat stasiun pengamatan dan koordinat patahan sebagai input. Proses perhitungan jarak tersebut diperlukan *software* MATLAB dengan membuat *script* rumus perhitungan jarak antara dua titik. Titik yang dimaksud yakni titik pengamatan dan titik patahan yang diinput dalam bentuk koordinat x dan y. Perhitungan tersebut dilakukan secara berulang untuk menghitung jarak stasiun terhadap masing-masing titik patahan pada kedua patahan tersebut. Dari nilai jarak yang telah didapatkan, dilakukan perhitungan jarak minimum stasiun terhadap garis patahan sehingga diperoleh satu nilai jarak untuk satu stasiun pada satu patahan. Dari proses tersebut diperoleh nilai jarak terdekat stasiun terhadap patahan Surabaya sejumlah 324 data dan terhadap patahan Waru sejumlah 324 data.

3.5.7 Perhitungan Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi yang digunakan dalam perhitungan nilai PGA didasarkan pada sumber gempa yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan sumber gempa patahan sehingga terdapat empat persamaan fungsi atenuasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu Boore-Atkinson, Campbell-Bozorgina, Chiou-Youngs, dan Grazier Kalkan. Secara umum, terdapat beberapa parameter input yang digunakan bergantung dengan kebutuhan dari masing-masing persamaan fungsi atenuasi. Proses perhitungan fungsi atenuasi dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB dengan membuat *script* persamaan dari masing-masing fungsi atenuasi. Berikut merupakan contoh dari *script* yang digunakan dalam perhitungan fungsi atenuasi kalkan.

```

22 - load Vs30
23 - load Dist_Surabaya
24 - load Dist_Waru
25 - N = length(Vs30);
26 - M = 6.5;
27 - R1 = Dist/1000;
28 - R2 = Dist2/1000;
29 - F = 1.28;
30 - Bdepth = 0;
31 - Q_0 = 150;
32
33 - for i=1:N;
34 -     G1 = log(( c1 * atan (M + c2) + c3) * F);
35 -     Ro = c4*M + c5;
36 -     Do = c6 * cos(c7 * (M + c8)) + c9;
37 -     G2 = -0.5 * log((1-R1(i)/Ro)^2 + 4 * (Do^2) * (R1(i)/Ro));
38 -     G3 = -c10 * R1(i) / Q_0;
39 -     G4 = bv * log(Vs30(i) / VA);
40 -     A_Bdepth = 1.077/sqrt((1-(1.5/(Bdepth+0.1))^2)^2+4*0.7^2*(1.5/(Bdepth+0.1))^2);
41 -     A_Bdist = 1/sqrt((1-(40/(R1(i)+0.1))^2)^2+4*0.7^2*(40/(R1(i)+0.1))^2);
42 -     G5 = log(1 + A_Bdepth * A_Bdist);
43 -     InPGA1 = G1 + G2 + G3 + G4 + G5;
44 -     PGA1(i,i) = exp(InPGA1) * amp;
45 -     out = GK15(M, R1(i), Vs30(i), F, Q_0, Bdepth, 'm');

```

Gambar 3. 8 *Script* perhitungan fungsi atenuasi Grazier Kalkan

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai Spektra percepatan terhadap periode yang dapat ditampilkan dalam bentuk grafik. Dari grafik tersebut dapat diketahui nilai dari puncak perubahan spektra percepatan yang disebut dengan *Peak Ground Acceleration* (PGA).Berikut merupakan tahapan perhitungan untuk setiap fungsi atenuasi.

a. Perhitungan Fungsi Atenuasi Boore-Atkinson

Pada perhitungan Boore-Atkinson dibutuhkan beberapa data yakni magnitudo sumber gempa, jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari bidang patahan (Km), model patahan, kondisi geologi regional, nilai Vs30, dan kedalaman cekungan. Selain itu dibutuhkan beberapa nilai koefisien dari persamaan Boore-Atkinson.Dari data tersebut kemudian dilakukan perhitungan persamaan fungsi atenuasi Boore-Atkinson.Sehingga diperoleh nilai median terhadap periode yang dapat ditampilkan dalam bentuk grafik spektra percepatan.

b. Perhitungan Fungsi Atenuasi Campbell-Bozorgina

Fungsi atenuasi ini memiliki parameter input yang cukup kompleks. Data yang dibutuhkan yaitu magnitude sumber gempa, jarak terdekat terhadap bidang patahan, jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari bidang patahan, jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari ujung atas dari bidang patahan, kedalaman dari puncak bidang patahan, rata-rata sudut dip dari bidang patahan, Vs30, lebar batas bawah sudut dip dari bidang patahan,kondisi geologi regional, hiposenter sumber gempa, perkiraan median dari batuan dengan nilai Vs30 1100 m/s, dan kedalaman sedimen dengan Vs 2.5 Km/s, serta data beberapa koefisien Campbell.Kemudian dilakukan perhitungan dengan MATLAB sehingga diperoleh nilai spektra percepatan pada tiap periode.

c. Perhitungan Fungsi Atenuasi Chiou-Youngs

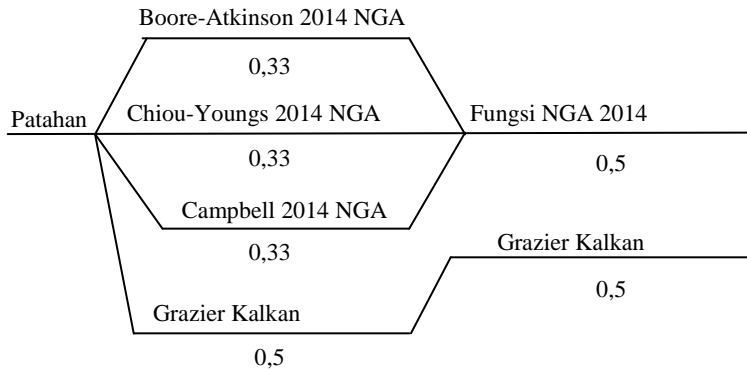
Persamaan Chiou-Youngs memiliki beberapa parameter input yang hampir sama dengan fungsi atenuasi Campbell. Data yang dibutuhkan yaitu magnitude sumber gempa, jarak terdekat terhadap bidang patahan, jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari bidang patahan, jarak terdekat terhadap proyeksi permukaan dari ujung atas dari bidang patahan, kedalaman dari puncak bidang patahan, rata-rata sudut dip dari bidang patahan, V_{s30} , kedalaman sedimen dengan V_s 1 Km/s, nilai rata-rata kedalaman sedimen dengan V_s 1 km/s untuk model spesifik California, *direct point parameter* untuk *directivity effect*, nilai rata-rata DPP, nilai faktor model patahan, dan *Hanging Wall flag*. Selain itu juga dibutuhkan koefisien parameter fungsi atenuasi Chiou-Youngs. Dari data tersebut kemudian dilakukan perhitungan sehingga dihasilkan nilai spektra percepatan seperti pada fungsi atenuasi lain.

d. Perhitungan Fungsi Atenuasi Grazier Kalkan

Pada perhitungan kalkan dibutuhkan beberapa parameter input seperti magnitude sumber gempa, jarak terdekat dengan dari patahan terhadap titik pengamatan, V_{s30} , kedalaman cekungan, model patahan, faktor kualitas regional, serta koefisien Grazier Kalkan. Dari data tersebut kemudian dilakukan perhitungan dengan persamaan fungsi atenuasi kalkan sehingga dihasilkan nilai spektra percepatan terhadap periode.

3.5.8 Perhitungan Logic Tree

Perhitungan logic-tree dilakukan dengan menentukan pembobotan pada masing-masing fungsi perhitungan parameter yang digunakan. Hasil dari tiap fungsi perhitungan diberikan bobot tertentu. Nilai dari bobot tersebut mencerminkan tingkat kepercayaan dari parameter yang terlibat. Dari nilai bobot tersebut dapat diperoleh hasil akhir yang diambil sebagai penjumlahan dari nilai bobot masing-masing. Penjumlahan dari semua parameter diperoleh nilai sama dengan 1. Logic tree dimodelkan dengan rangkaian node yang menunjukkan fungsi atenuasi yang berbeda. Beberapa rangkaian fungsi atenuasi tersebut dihubungkan dengan satu node. Hasil akhir diambil dari penjumlahan dari hasil bobot dari masing-masing parameter. Berikut merupakan logic tree yang digunakan.



Gambar 3.9 Logic Tree Penelitian Berdasarkan Sumber Gempa Patahan

3.5.9 Pemetaan Peak Ground Acceleration (PGA)

PGA merupakan nilai percepatan tanah maksimum yang dapat berpengaruh terhadap bangunan. Nilai PGA diperoleh dari maksimum percepatan spektra atau *Spectral Acceleratio* yang mencerminkan percepatan suatu gelombang gempa bumi ketika melewati suatu lapisan tanah. Selain itu, SA berkaitan dengan frekuensi alami getaran yang dialami oleh bangunan ketika terjadi suatu gempa bumi. Untuk memperoleh nilai SA diperlukan nilai dari hasil fungsi atenuasi pada periode tertentu. Kemudian dilakukan perhitungan dan digambarkan sebagai grafik hiperbolik. SA digunakan untuk melihat nilai maksimum pada rentang periode tertentu serta melihat respon spektra dari suatu skenario gempa. Dari grafik SA tersebut diperoleh nilai PGA yang merupakan puncak dari kurva SA terhadap periode tertentu. Nilai ini yang kemudian digunakan sebagai analisis bahaya gempa pada penelitian ini.

Proses pemetaan PGA membutuhkan nilai hasil perhitungan masing-masing fungsi atenuasi pada setiap jenis sumber gempa. Dalam penelitian ini digunakan empat jenis fungsi atenuasi dan dua jenis sumber gempa yakni patahan Surabaya dan patahan Waru. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan dari pengaruh masing-masing fungsi atenuasi serta tiap sumber gempa. Selain itu akan dilakukan pemetaan dari hasil logic tree terhadap setiap sumber gempa. Sehingga diperoleh sepuluh peta PGA. Untuk mendapatkan peta PGA digunakan *software* ArcGis. Dalam proses pengolahan digunakan metode interpolasi deterministik. Hal ini dikarenakan histogram persebaran nilai PGA yang diinputkan tidak bersifat kontinu maka digunakan *Inverse Distance Weighting* (IDW). Hal ini bertujuan untuk melakukan proses interpolasi dengan efek lokal dan akurasi nilai yang tinggi.

3.5.10 Analisis Bahaya Gempa

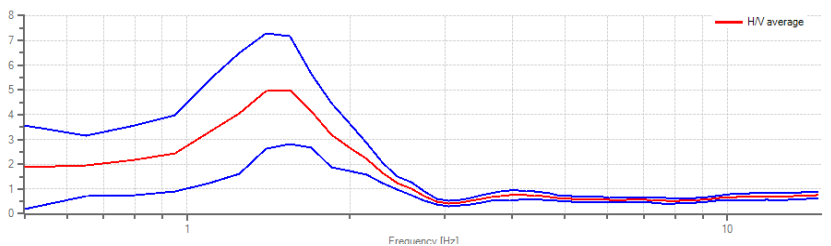
Pada proses analisis bahaya gempa dapat diperoleh gambaran bawah permukaan mengenai persebaran nilai V_{s30} dan nilai PGA di daerah Surabaya. Dalam melakukan analisa dibutuhkan suatu validasi dapat diperoleh dari data pendukung lain. Data ini berupa penelitian sebelumnya mengenai metode mikrotremor dengan cakupan wilayah daerah Surabaya. Selain itu, juga dibutuhkan peta geologi lembar Surabaya sapulu (Sukardi, 1992) untuk memvalidasi nilai V_{s30} yang telah didapatkan sesuai dengan kondisi bawah permukaan. untuk memvalidasi nilai PGA diperlukan peta bahaya (PUSGEN, 2017).

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Analisa HVSr

Pengukuran mikrotremor dilakukan pada 51 titik yang tersebar di seluruh wilayah Surabaya dengan lama waktu selama 20 menit. Dari hasil pengukuran tersebut diperoleh data rekaman getaran tanah dalam fungsi waktu dari arah vertikal, North-South, dan East-West. Pada data rekaman tersebut dilakukan pembagian sinyal dalam window waktu serta dilakukan pemilihan windows yakni dengan memilih sinyal yang stasioner dan konstan. Kemudian dilakukan analisis HVSr dengan cara estimasi rasio spektrum Fourier komponen vertikal terhadap komponen horizontal dan mengubahnya dari fungsi waktu menjadi domain frekuensi. Sehingga komponen horizontal yakni EW dan NS perlu digabungkan terlebih dahulu, berdasarkan kaidah pythagoras dalam fungsi frekuensi. Pada hasil fourier ini digunakan smoothing Konno Ohmachi dengan koefisien bandwidth 40. Sehingga didapatkan grafik HVSr yang menunjukkan rasio spectrum tiap window. Sebagai contoh, berikut merupakan grafik HVSr pada titik pengukuran SBY065.



Gambar 4. 1 Kurva hasil analisa HVSr pada titik pengukuran SBY065

Kurva tersebut menunjukkan rasio spektrum pada tiap window yang dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai frekuensi natural dan nilai amplifikasi. Terdapat tiga garis pada hasil analisa HVSr yakni kurva merah yang berada di tengah dimana kurva ini menunjukkan nilai rata-rata rasio spektrum. Sementara itu, kurva biru bagian atas menunjukkan deviasi tertinggi sedangkan kurva biru bagian bawah menunjukkan deviasi terendah dari nilai rasio spektrum. Frekuensi natural setempat merupakan frekuensi pada rasio HVSr puncak pertama, sedangkan rasio HVSr pada frekuensi natural merupakan nilai amplifikasi geologi setempat. Puncak tertinggi kurva HVSr dianggap sebagai frekuensi natural tanah dan amplifikasi pada titik pengukuran tersebut. Pada titik pengukuran SBY039 diperoleh nilai frekuensi natural 1.55 Hz dan amplifikasi 4.4. Sementara itu, tabel nilai frekuensi natural dan amplifikasi dari 51 titik pengukuran terdapat pada lampiran. Selanjutnya nilai frekuensi dan amplifikasi digunakan untuk inversi HVSr pada proses selanjutnya.

4.1.2 Parameter Model Awal

Sebelum melakukan inversi, dibutuhkan suatu pemodelan kedepan. Diharapkan, dari data pemodelan diperoleh suatu respon yang cocok dengan data lapangan. Model awal tersebut menunjukkan suatu proses perhitungan matematis. Pemodelan kedepan yang digunakan terdapat beberapa parameter yakni V_p , V_s , ρ , Q_p , dan Q_s . Pada proses penentuan model awal ini digunakan data N-SPT yang telah dilakukan pada daerah Gunung Anyar dan Perumahan Citraland Surabaya. Nilai V_s model awal ditentukan dengan konversi nilai N-SPT dengan persamaan $V_s = 105.3N^{0.286}$ dengan $r = 0.675$ (Fauzi, 2014). Pada penentuan nilai V_p diasumsikan $V_p = 2 V_s$. Densitas ditentukan menggunakan tabel penetrasi N-SPT sebagaimana pada penelitian Riyantiyo (2017) seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 1 *Empirical values for γ , of cohesive soils based on the standard penetration number, (from Bowels, Foundation Analysis).*
(http://www.geotechnicalinfo.com/soil_unit_weight.html)

SPT Penetration, N-Value (blows/foot)	γ_{sat} (lb/ft ³)
0 – 4	100 – 120
4 -- 8	110 – 130
8 - 32	120 - 140

Nilai Q_p merupakan faktor kuasi gelombang primer sementara Q_s merupakan faktor kuasi gelombang geser. Penentuan nilai Q_p dan Q_s dilakukan dengan memvariasi nilai Q_p dan Q_s hingga mendapatkan nilai Q_p dan Q_s . Perubahan Q_p dan Q_s terhadap kedalaman tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kurva HVSr. Sehingga nilai Q_p dan Q_s yang digunakan pada model awal adalah sama. Parameter model awal yang digunakan pada penelitian ini bergantung pada kondisi geologi. Pada daerah dengan kondisi Aluvial digunakan parameter model dengan data N-SPT wilayah Gunung Anyar. Sehingga didapatkan parameter model sebanyak 10 lapisan seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 2 Parameter Model Awal untuk Kondisi Geologi Aluvial

V_p	V_s	ρ	d	Q_p	Q_s
210,06	105,03	1,18	10,00	15,00	5,00
256,12	128,06	1,24	8,00	15,00	5,00
287,61	143,80	1,27	6,00	15,00	5,00
332,85	166,43	1,32	8,00	15,00	5,00
437,45	218,73	1,42	10,00	15,00	5,00

494,81	247,40	1,46	4,00	15,00	5,00
677,48	338,74	1,58	2,00	15,00	5,00
693,16	346,58	1,59	2,00	15,00	5,00
210,06	105,03	1,18	10,00	15,00	5,00

Parameter model di atas merupakan hasil konversi dengan perhitungan matematis dari data N-SPT pada tiap lapisan. Sementara pada kondisi geologi antiklin, digunakan referensi data N-SPT kompleks perumahan Citraland sehingga diperoleh parameter model awal sebagai berikut.

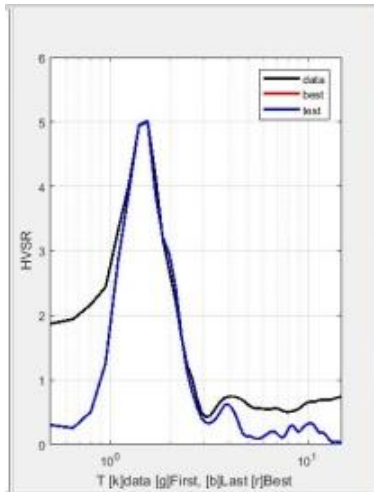
Tabel 4. 3 Parameter Model Awal untuk Kondisi Geologi Antiklin

Vp	Vs	ρ	d	Qp	Qs
305,20	91,96	1,85	1,65	15,00	5,00
743,44	208,05	2,06	4,79	15,00	5,00
978,81	336,26	2,32	8,43	15,00	5,00
1059,53	591,28	1,77	12,79	15,00	5,00
846,77	443,85	1,97	12,36	15,00	5,00
1600,00	800,00	2,25	999,00	999,00	999,00

Pada data N-SPT Citraland diperoleh enam lapisan dengan nilai Vs yang tinggi dan terdapat kontras yang sangat signifikan pada lapisan satu dan dua yang menandakan pada lapisan kedua merupakan batuan keras. Dari data parameter model tersebut kemudian digunakan sebagai model awal dalam proses inversi untuk mendapatkan nilai Vp, Vs, ρ , d, Qp, dan Qs yang menunjukkan kondisi di lapangan.

4.1.3 Hasil Inversi HVSr

Proses inversi akan menghasilkan respon yang cocok antara hasil analisa HVSr dengan kurva hasil dari pemodelan awal sehingga didapatkan model bawah permukaan yang sesuai dengan kondisi lapangan. Setelah dilakukan inversi, didapatkan nilai Vp, Vs, ρ , Qp, dan Qs. Salah satu contoh hasil inversi HVSr yakni pada titik pengukuran SBY065 seperti pada gambar berikut.



Gambar 4. 2 Kurva Hasil Inversi pada Titik SBY065.

Pada gambar hasil inversi HVSR di atas dapat dilihat adanya dua garis kurva yakni garis hitam dan garis biru. Garis hitam menunjukkan kurva hasil analisa HVSR dimana kurva tersebut melambangkan amplitude dan frekuensi. sementara garis biru menunjukkan kurva hasil perhitungan dengan menggunakan parameter model awal. Dari kurva tersebut, diperoleh nilai V_p , V_s , ρ , Q_p , dan Q_s .

Tabel 4. 4 Hasil inversi HVSR pada titik pengukuran mikrotremor SBY065

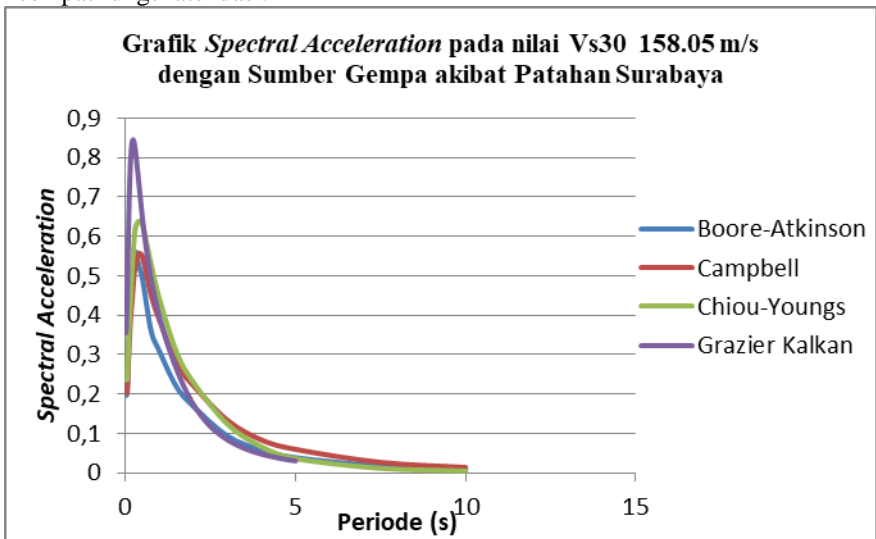
V_p	V_s	ρ	h	Q_p	Q_s	kedalaman
208	80	1.74	1.82	15	5	1.57
239.14	80	2.08	7.29	15	5	9.29
346.01	115.34	2.42	3.95	15	5	27.98
1010.28	476.4	2.5	3.02	15	5	32.96
1397.57	589.48	2.41	4.15	15	5	37.5
1709.01	752.85	2.34	3.47	15	5	41.52
1847.45	855.11	2.29	3.96	15	5	44.3
1147.04	561.34	1.89	2.47	15	5	46.48

Setelah dilakukan inversi HVSR pada titik pengukuran SBY065 diperoleh nilai kecepatan gelombang geser (V_s) pada tiap lapisan batuan yang nantinya akan digunakan untuk penentuan nilai V_{s30} . Pada titik ini diperoleh lima lapisan dengan nilai V_{s30} yang memiliki rentang nilai 80 m/s hingga 855 m/s. Berdasarkan tabel *Eurocode 8* (CEN, 2004), lapisan pertama dan kedua dengan nilai V_s 80 m/s diklasifikasikan pada tipe tanah E dengan V_s kurang dari 100m/s. Tipe tanah ini tersusun dari alluvium pada permukaan dengan nilai

Vs dengan ketebalan lapisan 10m dengan jenis batuan lempung lunak. Sementara itu pada lapisan ketiga dengan nilai 115 m/s termasuk dalam tipe tanah D dengan rentang nilai 100 m/s hingga 180 m/s. Lapisan batuan di bawahnya hingga lapisan ketujuh merupakan tipe tanah B dengan rentang nilai 360m/s hingga 800 m/s. Tipe tanah ini tersusun dari endapan *sand* atau clay yang sangat padat, *gravel* dengan ketebalan puluhan meter yang ditandai dengan peningkatan sifat fisik mekanik terhadap kedalaman. Hasil inversi ini dapat divalidasi dengan peta geologi lembar Surabaya dan Sapulu (Sukardi, 1992) dimana titik tersebut berada di kecamatan Mulyorejo yang memiliki kondisi geologi Alluvium. Nilai Vs dan ketebalan lapisan hingga kedalaman 30 meter akan berperan dalam penentuan nilai Vs30 pada suatu titik pengukuran. Sehingga dapat diketahui persebaran nilai Vs30 di kota Surabaya.

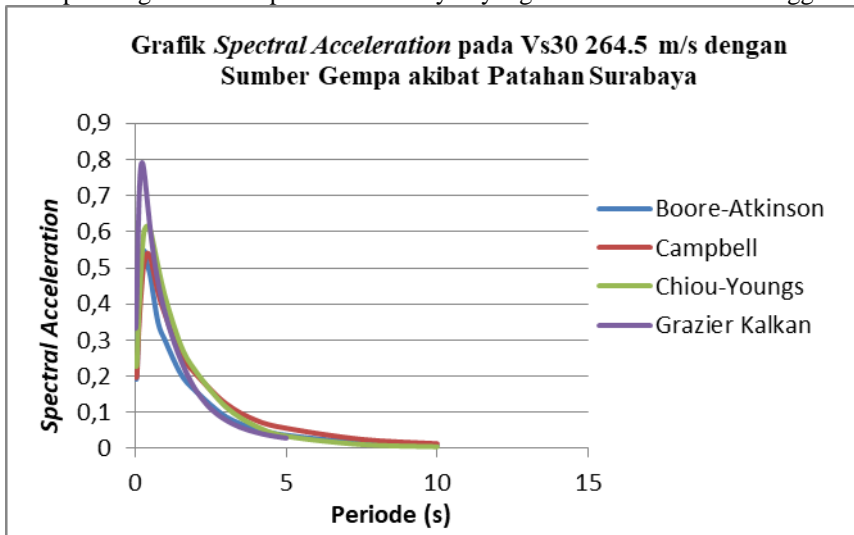
4.1.4 Grafik Spektral Akselerasi Fungsi Atenuasi

Fungsi atenuasi yang digunakan dalam perhitungan nilai PGA didasarkan pada sumber gempa yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan sumber gempa patahan sehingga terdapat empat persamaan fungsi atenuasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu Boore-Atkinson, Campbell-Bozorgina, Chiou-Youngs, dan Grazier Kalkan. Perhitungan fungsi atenuasi menghasilkan nilai *spectral acceleration* (SA) terhadap rentang periode tertentu. Dari nilai SA tersebut divisualisasikan dalam suatu grafik yang menunjukkan kurva hiperbolik. Berikut merupakan hasil plot grafik SA dari keempat fungsi atenuasi.



Gambar 4. 3 Grafik *Spectral Acceleration* pada nilai Vs30 158.05m/s² dengan Sumber Gempa akibat Patahan Surabaya

Dari gambar di atas dapat diketahui nilai SA pada masing-masing fungsi atenuasi pada suatu titik dengan nilai V_{s30} rendah yakni 158.05 m/s. Pada rumusan Boore-Atkinson memiliki rentang magnitudo 0.01s hingga 10s sehingga diperoleh SA dengan nilai terendah sebesar 0.008 m/s² hingga 0.561 m/s². Sementara itu pada rentang periode yang sama, rumusan Campbell memiliki nilai SA dengan rentang 0.01m/s² hingga 0.557 m/s² dimana nilai ini tidak jauh berbeda dengan rumusan Boore-Atkinson. Rumusan Chiou-Youngs memiliki nilai terendah yakni 0.005 m/s² dan nilai tertinggi 0.64 m/s². Pada rumusan ini, rentang nilai periode yang digunakan dari 0.01s hingga 10s dengan pencacahan tiga datum lebih banyak dibandingkan kedua fungsi atenuasi lainnya. Sementara itu, grazier kalkan memiliki pencacahan periode yang lebih rapat sehingga diperoleh datum yang lebih banyak meskipun periode yang digunakan memiliki rentang yang lebih sempit yaitu 0.01 s hingga 5s. Rumusan Grazier Kalkan menghasilkan nilai SA dengan nilai terendah 0.03 m/s² dan nilai tertinggi 0.845 m/s² dimana nilai ini merupakan nilai SA tertinggi diantara rumusan lainnya. Untuk mengetahui respon keempat rumusan terhadap nilai V_{s30} , dilakukan perbandingan grafik SA dengan nilai V_{s30} yang tinggi. Berikut merupakan gambaran grafik respon nilai SA yang dihasilkan oleh keempat fungsi atenuasi pada suatu wilayah yang memiliki nilai V_{s30} tinggi.



Gambar 4. 4 Grafik *Spectral Acceleration* pada nilai V_{s30} 264.5 m/s² dengan Sumber Gempa akibat Patahan Surabaya

Pada gambar di atas diperoleh respon fungsi atenuasi terhadap nilai *Spectral Acceleration* (SA) pada wilayah dengan nilai V_{s30} tinggi yakni 264.5 m/s. Pada rentang magnitudo 0.01s hingga 10s, diperoleh nilai SA berdasarkan rumusan Boore-Atkinson dengan nilai terendah sebesar 0.008 m/s² hingga 5.47

m/s². Sementara itu pada rentang periode yang sama, rumusan Campbell memiliki nilai SA dengan rentang 0.01m/s² hingga 0.54 m/s² dimana nilai ini tidak jauh berbeda dengan rumusan Boore-Atkinson. Rumusan Chiou-Youngs memiliki nilai terendah yakni 0.005 m/s² dan nilai tertinggi 0.61 m/s². Pada rumusan ini, rentang nilai periode yang digunakan dari 0.01s hingga 10s dengan pencacahan tiga datum lebih banyak dibandingkan kedua fungsi atenuasi lainnya. Sementara itu, grazier kalkan memiliki pencacahan periode yang lebih rapat sehingga diperoleh datum yang lebih banyak meskipun periode yang digunakan memiliki rentang yang lebih sempit yaitu 0.01 s hingga 5s. Rumusan Grazier Kalkan menghasilkan nilai SA dengan nilai terendah 0.028 m/s² dan nilai tertinggi 0.79 m/s² dimana nilai ini merupakan nilai SA tertinggi diantara rumusan lainnya.

Dapat dilihat bahwa rumusan Grazier kalkan memiliki respon yang paling sensitif dan cukup akurat terhadap getaran akibat gelombang gempa. Hal ini dikarenakan rumusan Grazier Kalkan sangat mempertimbangkan kondisi lokal daerah penelitian sehingga mencerminkan kondisi geologi setempat dan dinilai lebih akurat. Apabila dibandingkan dengan grafik sebelumnya, wilayah dengan nilai Vs30 tinggi memiliki nilai SA yang lebih rendah dibandingkan dengan wilayah dengan nilai Vs30 rendah. Hal ini dapat dilihat pada keempat fungsi atenuasi yang memiliki puncak nilai SA lebih rendah. Sehingga pada suatu wilayah yang memiliki nilai Vs30 rendah, respon nilai SA yang dihasilkan oleh perhitungann rumusan fungsi atenuasi akan semakin tinggi. Hal ini diakibatkan oleh adanya faktor amplifikasi yang akan memperkuat getaran ketika terjadi gelombang gempa sehingga besar potensi kerusakan bangunan yang berada di atas tanah dengan kondisi nilai Vs30 tinggi.

Dari grafik nilai SA hasil dari perhitungan numerik fungsi atenuasi, akan diperoleh nilai maksimum dari akselerasi spektral dimana nilai tersebut merupakan nilai percepatan tanah maksimum di batuan dasar atau yang biasa disebut dengan *Peak Ground Acceleration* (PGA). Nilai ini yang kemudian dijadikan analisa kerentanan bangunan terhadap bahaya ketika terjadi gempa. Sehingga diperoleh nilai PGA pada masing-masing titik pengamatan dengan fungsi atenuasi dan patahan yang berbeda. Selanjutnya dilakukan pembobotan untuk beberapa fungsi atenuasi yang digunakan sehingga didapatkan peta persebaran nilai PGA di kota Surabaya berdasarkan data mikrotremor.

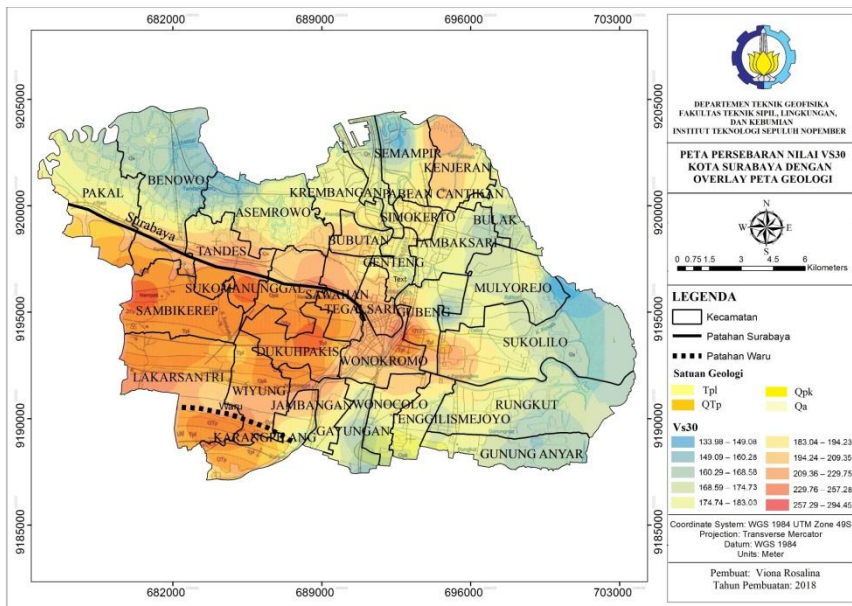
4.2 Pembahasan

4.2.1 Persebaran nilai Vs30 wilayah Surabaya

Pada hasil pengolahan mikrotremor yang dilakukan di 52 titik yang tersebar di seluruh wilayah Surabaya akan didapat nilai kecepatan gelombang geser hingga kedalaman 30 meter (Vs30). Nilai Vs30 ini dapat digunakan untuk karakterisasi lapisan batuan bawah permukaan serta untuk mengetahui pembesaran gelombang gempa. Sehingga dapat diketahui potensi kerusakan

apabila terjadi gempa bumi berdasarkan kondisi lokal daerah setempat. Berikut merupakan peta persebaran nilai kecepatan gelombang geser wilayah Surabaya berdasarkan kecepatan gelombang geser.

Dari gambar 4.5 dapat diketahui nilai Vs30 yang terdapat di wilayah Surabaya memiliki rentang nilai 133 m/s hingga 296 m/s dengan dominasi nilai Vs30 tinggi berada di wilayah Surabaya barat. Daerah ini terdapat diantara patahan Surabaya dan patahan Waru tepatnya pada daerah dengan struktur antiklin Lidah dan antiklin Gayungan. Sementara itu nilai Vs30 rendah berada di daerah Surabaya Timur dan Surabaya Utara. Dimana daerah tersebut merupakan wilayah pesisir. Nilai Vs30 yang rendah ditandai dengan zona berwarna biru dengan nilai terendah sebesar 133 m/s yakni pada kecamatan Semampir. Sementara zona merah menandakan wilayah yang memiliki nilai Vs30 tinggi dengan nilai tertinggi sebesar 296 m/s. yakni pada kecamatan Dukuhpakis



Gambar 4. 5 Peta Persebaran nilai VS30 kota Surabaya

Pada bagian utara dan timur Surabaya didominasi oleh nilai Vs30 rendah yakni sebesar 133-183 m/s. Berdasarkan klasifikasi jenis tanah *eurocode 8* (CEN, 2004) berdasarkan nilai persebaran kecepatan geser, wilayah tersebut diklasifikasikan sebagai tipe tanah E. Batuan pada wilayah ini berupa endapan tanah alluvium dengan ketebalan bervariasi 5m hingga 20m di permukaan dengan bagian bawah merupakan material keras dengan Vs lebih

dari 800m/s. Hal ini sesuai dengan peta geologi lembar Surabaya dan Sapuluh (Sukardi, 1992) dimana pada wilayah dengan nilai Vs30 rendah berada pada zona Qa. Zona Qa tersusun dari batu pasir, batulempung, dan kerikil yang merupakan material sedimen aluvial muda hasil endapan laut dan sungai. Jenis batuan ini tergolong sedimen lunak yang memiliki daya ikat antar butir yang sangat rendah. Ketika gelombang melewati struktur batuan ini maka gelombang akan mengalami perbesaran sehingga waktu yang dibutuhkan untuk melewati lapisan batuan tersebut akan lebih lama dan kecepatan gelombang akan semakin rendah. Daerah dengan nilai Vs30 rendah berada di kecamatan Benowo, Semampir, Sukolilo, dan Gunung Anyar.

Batuan sedimen yang lunak diketahui memperkuat gerakan tanah selama gempa dan karena itu rata-rata kerusakan yang diakibatkan lebih parah dari pada lapisan keras (Tuladhar, 2002). Sehingga ketika sedimen lunak dilewati oleh gelombang gempa akan terjadi amplifikasi yang menyebabkan bangunan di atasnya akan mudah mengalami kerusakan. Amplifikasi terjadi ketika suatu gelombang tercebak di lapisan lunak dan menyebabkan adanya superposisi antar gelombang. Jika gelombang tersebut memiliki frekuensi yang relatif sama, maka akan terjadi proses resonansi yang menyebabkan gelombang akan saling menguatkan (Nakamura dkk., 2000). Selain itu, amplifikasi dapat terjadi akibat adanya kesamaan frekuensi natural antara geologi setempat dengan bangunan (Gosar, 2007). Sehingga dapat disimpulkan bahwa potensi kerusakan bangunan akibat gelombang gempa terdapat pada wilayah sedimen lunak yang diindikasikan dengan nilai Vs30 yang rendah.

Pada bagian barat merupakan daerah dimana didominasi oleh nilai Vs30 tinggi yakni sekitar 183-296m/s. Rentang nilai tersebut dapat diklasifikasikan ke dalam jenis tanah tipe C dimana terdiri dari endapan *sand* padat atau setengah padat yang tebal, *gravel* atau *clay* padat dengan ketebalan beberapa puluhan hingga ratusan meter. Hal ini sesuai dengan peta geologi lembar Surabaya dan Sapuluh (Sukardi, 1992) dimana wilayah ini berada pada zona Qpk, QTp, dan Tpl. Qpk merupakan wilayah yang terdiri dari formasi kabuh. Formasi ini didominasi oleh batuan berjenis pasir bercampur kerikil berbutir kasar dan berstruktur silang siur dengan disisipi oleh batuan konglomerat dengan lapisan bersusun. Sementara itu, QTp berada pada formasi Pucangan dengan lapisan bagian bawah merupakan batu pasir tufan yang bersisipan dengan konglomerat dan batu lempung. Bagian atas formasi Pucangan merupakan batu pasir tufan berstruktur silang siur dan berlapis baik. Pada zona Tpl merupakan formasi Lidah yang terdiri dari batu lempung padat dan keras dengan sisipan batu lempung pasiran.

Wilayah dengan nilai Vs30 tinggi merupakan perbukitan rendah yang dibentuk oleh tanah hasil pelapukan batuan tersier/tua. Wilayah ini berada pada struktur antiklin Lidah dan antiklin Guyangan. Kedua antiklin tersebut dipisahkan oleh Sungai dengan zona Qa. Zona ini tersusun dari batuan pasir,

lempung, dan kerikil yang dihasilkan dari proses sedimentasi yang terjadi pada antiklin Lidah dan Gayungan dimana pada daerah antiklin merupakan daerah tinggian. Proses pelapukan akan menyebabkan erosi pada batuan yang terdapat di wilayah tinggian atau Antiklin sehingga akan terendapkan di daerah cekungan. Sehingga cekungan yang berada tepat diantara kedua antiklin ini akan terisi oleh material sedimentasi berupa alluvium yang terendapkan di sepanjang aliran sungai.

Lapisan batuan dengan struktur yang padat dan keras akan dengan mudah dilewati oleh gelombang. Sehingga kecepatan gelombang geser pada wilayah ini memiliki nilai yang tinggi sesuai dengan peta persebaran nilai Vs30 di atas. Kondisi batuan yang padat dan kompak akan meredam guncangan apabila terjadi suatu gelombang gempa. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada nilai Vs30 yang tinggi akan memiliki tingkat kerusakan bangunan yang rendah ketika wilayah tersebut dilalui oleh gelombang gempa. Daerah dengan nilai Vs30 tinggi yakni di kecamatan Sambikerep, Sukomanunggal, Dukuhpakis, Lakarsantri, Karangpilang, Wiyung, Sawahan, Wonokromo, dan Kenjeran.

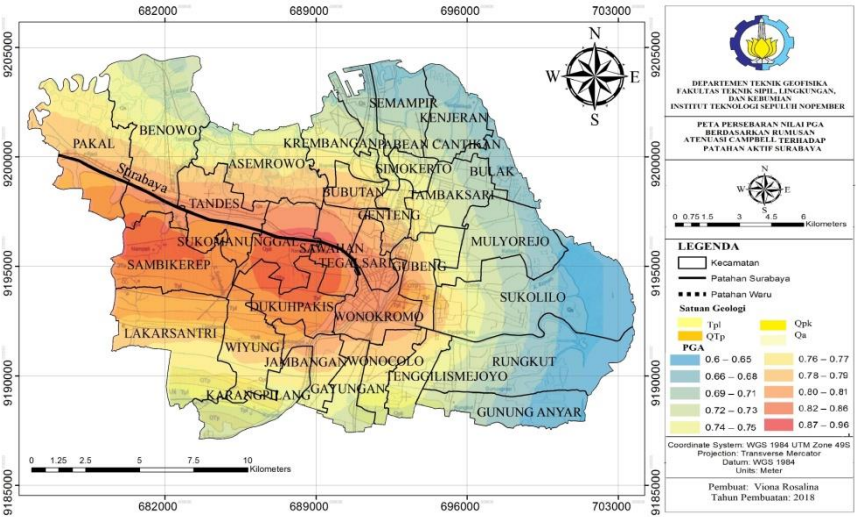
4.2.2 Persebaran Nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi

Sumber gempa yang digunakan pada penelitian ini merupakan sumber gempa patahan yakni patahan Surabaya dan Waru. Sehingga untuk mendapatkan persebaran nilai *Peak Ground Atenuation* (PGA) dengan sumber patahan digunakan empat persamaan fungsi atenuasi. Fungsi atenuasi tersebut yakni Boore-Atkinson, Campbell-Bozorgina, Chiou-Youngs (PUSGEN, 2017). Selain itu, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat digunakan pula persamaan fungsi atenuasi Grazier Kalkan. Pada sumber gempa yang sama, masing-masing fungsi atenuasi akan memberikan respon yang berbeda bergantung dengan parameter dari setiap rumusan.

4.2.2.1 Persebaran Nilai PGA Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi Boore- Atkinson

Patahan Surabaya merupakan patahan aktif dengan magnitudo 6.5 yang memiliki panjang 25km. Dari segi geologi, patahan ini memanjang di bagian utara antiklin Lidah. Patahan ini merupakan bagian dari sesar Kendeng dimana zona sesar ini memanjang dari Jawa Tengah hingga bagian barat Jawa Timur yakni Surabaya. Di bagian barat sesar kendeng ini terlihat menyambung ke dalam sistem Sesar Semarang dan Baribis (PUSGEN, 2017). Hasil penelitian terakhir dan juga hasil diskusi kelompok tim revisi zonasi gempa menunjukkan bahwa Sesar Baribis merupakan bagian dari satu kesatuan jalur sesar naik belakang busur, termasuk di dalamnya sesar-sesar naik di zona Kendeng (Natawidjaja, 2007) Patahan Surabaya bergerak sepanjang

0.05mm/tahun yang dapat diamati dengan adanya teras-teras sungai yang terangkat seiring dengan pergerakan sesar-sesar di daerah ini. Gempa-gempa dangkal berukuran sedang (M4-5) terjadi di sepanjang zona sesar ini dalam beberapa tahun terakhir (Marliyani, 2016). Maka dilakukan analisis bahaya gempa untuk mengetahui percepatan tanah maksimum (PGA) ketika dilalui gelombang gempa akibat patahan aktif Surabaya. Sehingga diperoleh peta persebaran nilai PGA berdasarkan tiap rumusan fungsi atenuasi. Berikut merupakan peta persebaran nilai PGA terhadap patahan Surabaya berdasarkan rumusan Boore-Atkinson.



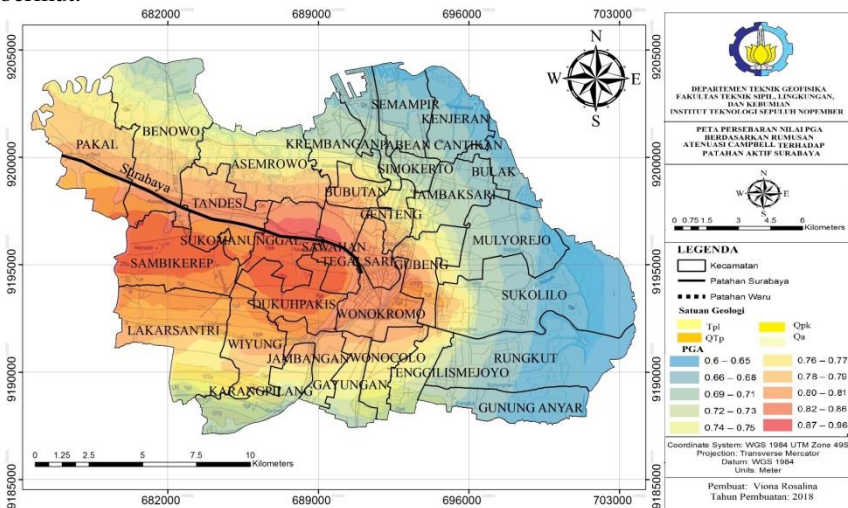
Gambar 4. 6 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya Berdasarkan Rumusan Boore-Atkinson

Berdasarkan gambar di atas, dapat diketahui nilai PGA yang diperoleh dari hasil perhitungan numerik berdasarkan fungsi atenuasi Boore-Atkinson pada wilayah Surabaya memiliki rentang nilai 0.62 g hingga 1.13 g. Nilai PGA rendah diindikasikan dengan zona biru hingga kuning dengan rentang nilai 0.62 g hingga 0.86 g. Zona PGA rendah berada pada daerah pesisir dimana kondisi geologi pada daerah tersebut merupakan batuan Alluvium hasil sedimentasi laut dan sungai. Nilai PGA tinggi diindikasikan zona warna merah dengan rentang nilai 0.87 g hingga 1.13 g. Daerah dengan nilai PGA tinggi terdapat di Surabaya barat yakni pada daerah antiklin Lidah dimana daerah tersebut berada di selatan patahan Surabaya dan merupakan daerah yang berada pada jarak terdekat dari patahan. Dimana jarak stasiun terhadap patahan berperan penting pada rumusan fungsi atenuasi Boore-Atkinson. Sementara Persebaran nilai

PGA ini membentuk pola kontur yang hampir sama dengan persebaran nilai Vs30. Dimana pada daerah dengan nilai Vs30 tinggi memiliki nilai PGA yang tinggi juga. Sehingga pada rumusan Boore-Atkinson, parameter yang berpengaruh yakni jarak stasiun terhadap patahan dan Vs30.

4.2.2.2 Persebaran Nilai PGA Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi Campbell

Perhitungan nilai PGA berdasarkan rumusan fungsi atenuasi Campbell menghasilkan peta persebaran nilai PGA seperti pada gambar berikut.



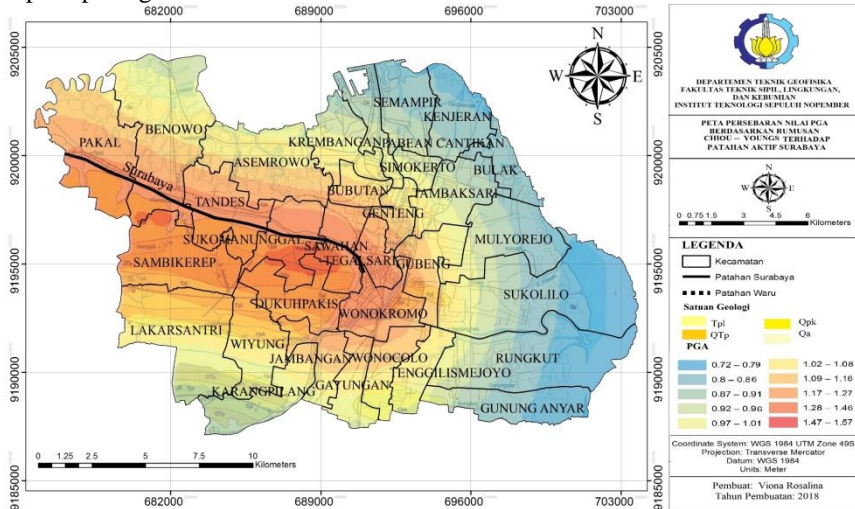
Gambar 4. 7 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya Berdasarkan Rumusan Campbell

Nilai PGA yang diperoleh dari hasil perhitungan numerik berdasarkan fungsi atenuasi Campbell pada wilayah Surabaya memiliki rentang nilai 0.6 g hingga 0.95 g. Daerah dengan nilai PGA rendah berada pada zona biru hingga kuning dengan rentang nilai 0.6 g hingga 0.75 g. Zona PGA rendah terdapat pada daerah pesisir dimana kondisi geologi pada daerah tersebut merupakan batuan Alluvium. Sementara itu, nilai PGA tinggi ditunjukkan oleh zona warna merah dengan rentang nilai 0.76 g hingga 0.95 g. Daerah ini terdapat di Surabaya barat yakni pada daerah antiklin Lidah dimana daerah tersebut berada pada formasi dengan jenis batuan kompak. Zona merah ini berada di selatan patahan Surabaya dan merupakan daerah yang berada pada jarak terdekat dari patahan. Dimana jarak stasiun terhadap patahan berperan penting pada rumusan fungsi atenuasi Campbell. Persebaran nilai PGA membentuk kontur yang

hampir sama dengan persebaran nilai Vs30. Sehingga pada rumusan Campbell, parameter yang berpengaruh yakni jarak stasiun terhadap patahan dan Vs30.

4.2.2.3 Persebaran Nilai PGA Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi Chiou-Youngs

Perhitungan nilai PGA juga dilakukan berdasarkan rumusan fungsi atenuasi Chiou-Youngs dimana menghasilkan peta persebaran nilai PGA seperti pada gambar berikut.

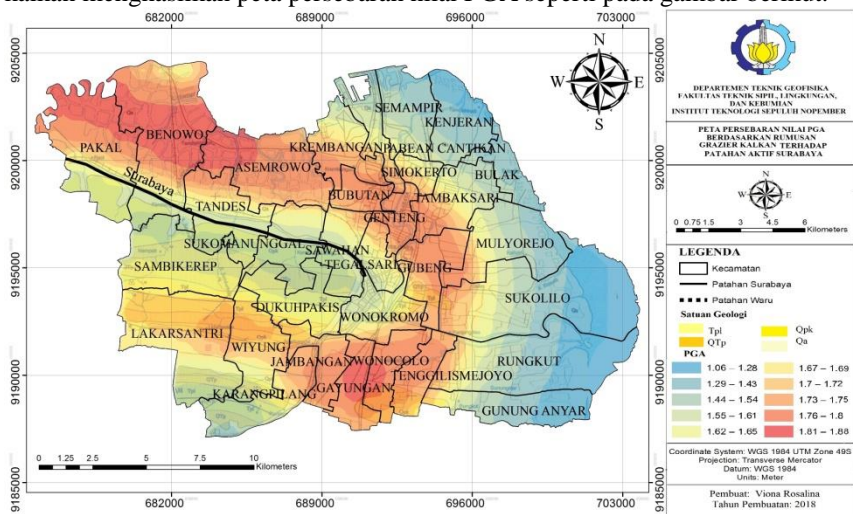


Gambar 4. 8 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya Berdasarkan Rumusan Chiou-Youngs

Gambar di atas merupakan hasil perhitungan numerik berdasarkan fungsi atenuasi Chiou-Youngs pada wilayah Surabaya. Dari peta tersebut dapat diketahui rentang nilai PGA 0.72 g hingga 1.57 g. Zona biru hingga kuning menunjukkan daerah dengan nilai PGA rendah yakni berkisar 0.72 g hingga 1.08 g. Daerah dengan PGA rendah ini berada pada daerah yang memiliki jarak terjauh dari sumber gempa yakni patahan Surabaya dengan nilai PGA yang semakin tinggi ke arah sumber gempa. Nilai PGA tinggi diindikasikan dengan zona warna merah dengan rentang nilai 1.09 g hingga 1.57 g. Daerah dengan nilai PGA tinggi terdapat di Surabaya barat yakni pada daerah yang berada pada jarak terdekat dari patahan dengan nilai PGA terbesar berada pada selatan patahan Surabaya. Sehingga persebaran nilai PGA membentuk kontur yang bentukannya hampir sama dengan bentukan. Sehingga pada rumusan Chiou-Youngs, parameter yang berpengaruh yakni jarak stasiun terhadap patahan.

4.2.2.4 Persebaran Nilai PGA Berdasarkan Rumusan Fungsi Atenuasi Grazier Kalkan

Perhitungan nilai PGA berdasarkan rumusan fungsi atenuasi Grazier kalkan menghasilkan peta persebaran nilai PGA seperti pada gambar berikut.



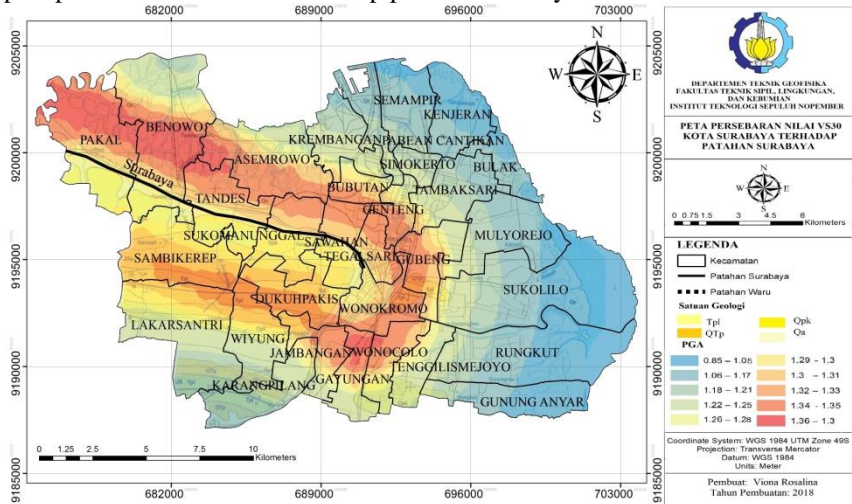
Gambar 4. 9 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya Berdasarkan Rumusan Grazier Kalkan

Gambar di atas menunjukkan persebaran nilai PGA yang diperoleh dari hasil perhitungan numerik berdasarkan fungsi atenuasi Grazier Kalkan pada wilayah Surabaya dimana nilai PGA yang didapat memiliki rentang nilai 1.06 g hingga 1.88 g. Zona biru hingga kuning menunjukkan nilai PGA rendah yakni 1.06 g hingga 1.6 g. Zona ini terdapat pada daerah yang berada pada jarak terjauh dari sumber gempa patahan yakni daerah pesisir utara dan timur kota Surabaya. Selain itu, daerah dengan nilai PGA rendah juga terdapat pada antiklin Lidah dan antiklin Guyangan. Nilai rendah di daerah antiklin dipengaruhi oleh nilai Vs30 yang tinggi dengan kondisi lokal berupa batuan yang kompak. Nilai PGA tinggi ditunjukkan zona warna merah dengan rentang nilai 1.7 g hingga 1.88 g. Nilai PGA tinggi terdapat pada daerah dengan nilai Vs30 rendah yakni daerah Alluvium yang berada pada jarak terdekat dari patahan. Dapat disimpulkan bahwa pada rumusan Grazier Kalkan sangat dipengaruhi oleh Vs30 dimana mencerminkan kondisi lokal daerah penelitian. Sehingga fungsi atenuasi ini sangat cocok digunakan untuk analisis bahaya gempa dengan pengukuran mikrotremor. Selain Vs30, jarak suatu daerah terhadap patahan juga berperan penting pada rumusan fungsi atenuasi ini.

4.2.3 Persebaran Nilai PGA Hasil *Logic Tree*

4.2.3.1 Persebaran Nilai PGA Hasil *Logic Tree* Terhadap Patahan Surabaya

Setelah diperoleh nilai PGA berdasarkan masing-masing rumusan, diberikan bobot pada tiap fungsi atenuasi dengan sumber gempa yang sama. Sehingga diperoleh nilai PGA terhadap tiap sumber gempa. Berikut merupakan peta persebaran nilai PGA terhadap patahan Surabaya.



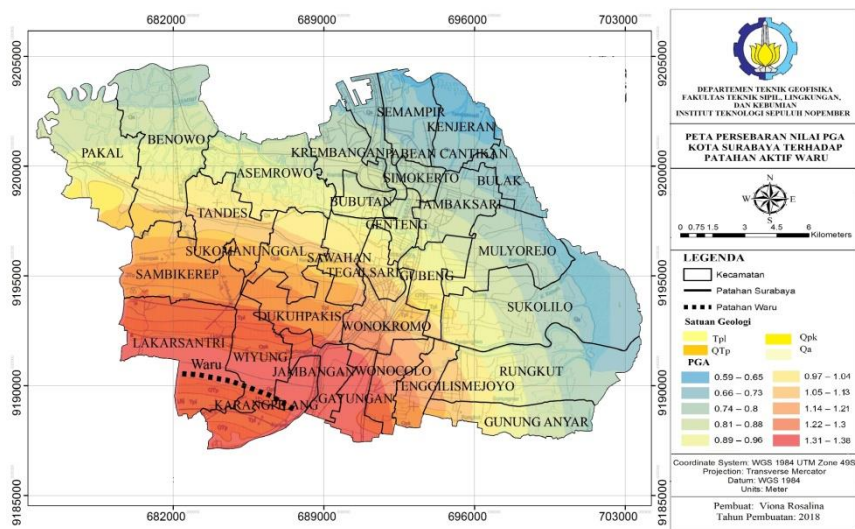
Gambar 4. 10 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Surabaya

Pada gambar di atas, diperoleh persebaran nilai PGA dari hasil pembobotan terhadap keempat fungsi atenuasi. Nilai PGA yang didapat memiliki rentang nilai 0.85 g hingga 1.38 g. Nilai PGA rendah ditunjukkan oleh zona biru hingga kuning dengan nilai berkisar antara 0.85 g hingga 1.34 g. Zona ini terdapat pada daerah yang berada pada jarak terjauh dari sumber gempa patahan yakni daerah pesisir utara dan timur kota Surabaya. Selain itu, daerah dengan nilai PGA rendah juga terdapat pada daerah antiklin Lidah dan antiklin Guyangan. Nilai rendah di daerah antiklin dipengaruhi oleh nilai Vs30 yang tinggi dengan kondisi lokal berupa batuan yang kompak. Struktur batuan yang kompak akan meredam getaran gelombang akibat gempa. Hal ini menyebabkan daerah dengan kondisi tersebut memiliki percepatan tanah maksimum atau PGA yang rendah. Sehingga potensi kerusakan bangunan yang ditimbulkan akibat gelombang gempa dapat diminimalkan. Daerah dengan nilai PGA tinggi ditunjukkan oleh zona warna merah dengan rentang nilai 1.35 g hingga 1.38 g. Zona tersebut terdapat pada daerah dengan nilai Vs30 rendah yakni daerah Alluvium yang berada pada jarak terdekat dari patahan. Namun

pada daerah antiklin Lidah juga terdapat zona merah yang diakibatkan oleh jaraknya yang tidak jauh dari sumber patahan. Dapat disimpulkan bahwa nilai PGA dipengaruhi oleh Vs30 dimana mencerminkan kondisi lokal daerah penelitian. Semakin tinggi nilai Vs30 maka akan semakin kompak batuan yang terdapat pada wilayah tersebut. Pada kondisi lokal yang kompak akan memiliki nilai PGA akan semakin kecil dan potensi kerusakan bangunan akan semakin rendah. Begitupun sebaliknya, kondisi batuan yang lunak seperti Alluvium akan memiliki nilai PGA yang tinggi sehingga potensi kerusakan bangunan pada daerah tersebut tinggi. Selain itu, jarak suatu daerah terhadap patahan juga berperan penting terhadap nilai PGA. Semakin jauh suatu wilayah maka nilai PGA akan semakin kecil sehingga kerusakan bangunan yang ditimbulkan oleh getaran gempa juga akan semakin kecil.

4.2.3.2 Persebaran Nilai PGA Hasil *Logic Tree* Terhadap Patahan Waru

Pada keempat fungsi atenuasi, pembobotan juga dilakukan terhadap segmen patahan Waru. Berikut merupakan peta persebaran nilai PGA terhadap patahan Surabaya.



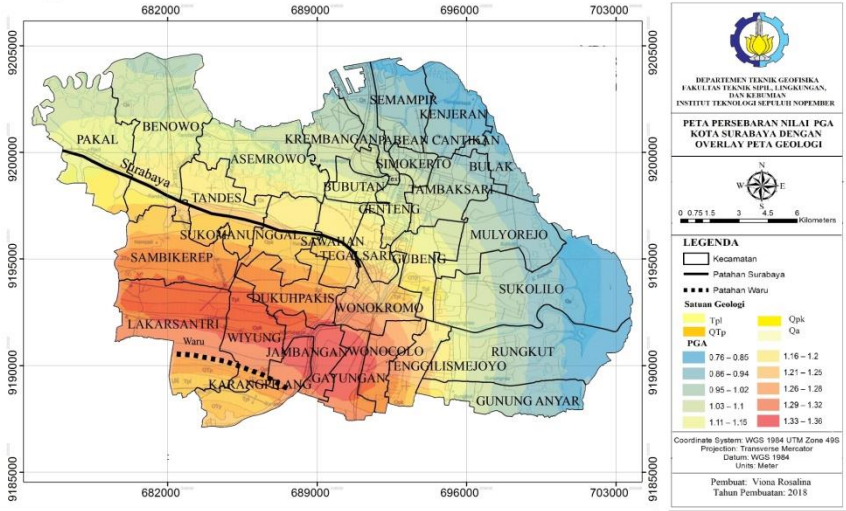
Gambar 4. 11 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru

Dari hasil perhitungan *logic tree* diperoleh persebaran nilai PGA dari hasil pembobotan terhadap keempat fungsi atenuasi dengan rentang nilai PGA 0.6 g hingga 1.38 g. Daerah dengan nilai PGA rendah ditunjukkan oleh zona biru hingga kuning dengan nilai berkisar antara 0.6 g hingga 1.04 g. Zona ini

terdapat pada daerah yang berada pada jarak terjauh dari patahan Waru. Nilai PGA semakin meningkat seiring dengan semakin dekatnya jarak suatu wilayah terhadap sumber gempa. Daerah dengan nilai PGA tinggi ditunjukkan oleh zona warna merah dengan rentang nilai 1.05 g hingga 1.38 g. Zona tersebut berada pada jarak terdekat dari patahan. Dapat disimpulkan bahwa nilai PGA dipengaruhi oleh jarak suatu daerah terhadap patahan. Daerah yang memiliki potensi kerusakan bangunan paling tinggi berada pada zona merah dengan nilai PGA tinggi yakni daerah yang berada pada jarak terdekat dari patahan Waru. Semakin jauh suatu wilayah maka nilai PGA akan semakin kecil sehingga potensi kerusakan bangunan yang ditimbulkan oleh getaran gempa juga akan semakin kecil.

4.2.4 Persebaran Nilai PGA kota Surabaya

Peta persebaran nilai PGA kota Surabaya diperoleh dari hasil pembobotan untuk semua fungsi atenuasi terhadap kedua patahan. Pada tiap patahan, masing-masing diberikan bobot 0.5. Hal ini dikarenakan kedua patahan memiliki magnitudo yang sama yakni 6.5. Selain itu, patahan Waru dan patahan Surabaya tergabung dalam segmen patahan Baribis-kendeng dengan tipe patahan yang sama yakni sesar naik turun. Sehingga patahan Waru kontribusi yang sama besar dengan patahan Waru dalam analisa bahaya gempa.



Gambar 4. 12 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) kota Surabaya

Dari peta percepatan tanah maksimum tersebut dapat diketahui bahwa nilai PGA di wilayah Surabaya berkisar antara 0.76 hingga 1.36 g. Nilai PGA rendah berada di wilayah Surabaya Timur dan Utara dengan rentang nilai 0.76 - 1.20 g. Berdasarkan peta geologi lembar Surabaya dan Sapulu (Sukardi, 1992). wilayah ini terdiri atas alluvium yang merupakan hasil endapan laut dan sungai. Meskipun memiliki struktur batuan yang lunak, wilayah tersebut berada pada jarak yang jauh dari sumber gempa sehingga potensi kerusakan bangunan akibat getaran gelombang gempa akan rendah. Daerah dengan potensi kerusakan bangunan rendah berada pada wilayah kecamatan Gunung Anyar, Rungkut, Sukolilo, Mulyorejo, Bulak Kenjeran, Semampir. Sementara itu, PGA tinggi berada di Barat Daya kota Surabaya dengan rentang nilai 1.11 g hingga 1.36 g. Hal ini diakibatkan daerah tersebut memanjang diantara dua patahan aktif yakni patahan Surabaya di bagian utara dan patahan Waru di bagian selatan. Hal ini diakibatkan oleh daerah tersebut memiliki jarak terdekat dengan sumber gempa patahan. Daerah tersebut berada pada struktur antiklin Lidah yang terdiri dari batu lempung dan batu pasir. Meskipun memiliki struktur batuan yang kompak, daerah tersebut berada pada jarak terdekat terhadap kedua patahan. Sehingga apabila terjadi getaran gelombang gempa yang diakibatkan oleh kedua patahan akan sangat berdampak pada daerah ini. Selain itu, nilai PGA tinggi berada di Surabaya selatan dimana daerah tersebut terdiri dari alluvium yang terdiri dari batu pasir dan kerakal. Batuan sedimen yang lunak seperti batu pasir diketahui memperkuat gerakan tanah selama gempa dan karena itu rata-rata kerusakan bangunan yang diakibatkan lebih parah dari pada lapisan keras (Tuladhar, 2002). Sehingga potensi kerusakan bangunan yang ditimbulkan oleh getaran gelombang gempa pada daerah ini sangat tinggi. Daerah dengan potensi kerusakan bangunan tinggi berada pada wilayah kecamatan Sambikerep, Lakarsantri, Wiyung, Dukuhpakis, Wonokromo, Jambangan, Wonocolo, Tandes, Sukomanunggal, Sawahan, Tegalsari, dan Gayungan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian analisa bahaya gempa akibata sumber gempa patahan di kota Surabaya, diperoleh kesimpulan bahwa :

1. Hasil pengolahan data mikrotremor di wilayah Surabaya memiliki nilai Vs30 berkisar 133 m/s – 294 m/s dimana nilai ini termasuk dalam kelas tanah E hingga kelas tanah A. Kondisi geologi pada nilai Vs30 rendah merupakan endapan alluvium. Sementara pada daerah dengan nilai Vs30 tinggi merupakan daerah antiklin Lidah dan antiklin Gayungan.
2. Hasil analisa bahaya gempa dengan metode deterministik (DSHA) berdasarkan sumber gempa patahan di kota Surabaya memiliki nilai PGA berkisar 0.76 g hingga 1.36 g. Nilai PGA rendah berkisar 0.76g -1.10 g. Sementara nilai PGA tinggi berada pada wilayah dengan rentang nilai 1.11g hingga 1.36g.
3. Wilayah yang memiliki kerentanan tinggi terhadap dampak gempa dan memiliki potensi kerusakan bangunan tinggi berada pada wilayah kecamatan Sambikerep, Lakarsantri, Wiyung, Dukuhpakis, Wonokromo, Jambangan, Wonocolo, dan Gayungan.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian analisis bahaya gempa selanjutnya diperlukan

1. Jumlah data mikrotremor dan N-SPT yang lebih banyak serta tersebar di seluruh wilayah penelitian untuk mendapatkan hasil pengolahan yang lebih akurat
2. Penelitian lebih lanjut mengenai fungsi atenuasi dengan sumber patahan yang sesuai dengan geologi kondisi Indonesia
3. Penelitian dengan metode geofisika lainnya seperti *Multi-channel Analysis Surface Wave*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Bahri, S. dan Madlazim (2012), "Pemetaan Topografi, Geofisika Dan Geologi Kota Surabaya", *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, Vol.2, No.2, hal. 23–28.
- Boore, D.M., Stewart, J.P., Atkinson, G.M. dan Eeri, M. (2014), "NGA-West 2 Equations for Predicting PGA , PGV , and 5 % -Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes", *Earthquake Spectra*, No.c, hal. 1–38. <http://doi.org/10.1193/070113EQS184M>.
- Campbell, K.W. dan Bozorgnia, Y. (2014), "NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra", *Earthquake Spectra*, Vol.30, No.3, hal. 1087–1115. <http://doi.org/10.1193/062913EQS175M>.
- CEN (2004), "Eurocode 8—design of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings", *European standard EN 1998-1*, No.1.
- Chiou, B.S.. dan Youngs, R.. (2008), *NGA Model of Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra*, Berkeley.
- Daryono, S., Sartohadi, J., Dulbahri, K.S. dan Brotopuspito (2009), *Efek Tapak Lokal (Local Site effect) di Graben Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor.*
- Fauzi, A., Irsyam, M. dan Fauzi, U.J. (2014), "Empirical Correlation Of Shear Wave Velocity And N-Spt Value For Jakarta", *Int. J. Of GEOMATE*, Vol.7, hal. 980–984.
- Febriani, Y., Daruwati, I. dan Hatika, R.G. (2013), *Analisis nilai peak ground acceleration dan indeks kerentanan seismik berdasarkan data mikroseismik pada daerah rawan gempa bumi di kota bengkulu*, Vol.2, No.2, hal. 85–90.
- Graizer, V. dan Kalkan, E. (2016), *Summary of the GK15 Ground-Motion Prediction Equation for Horizontal PGA and 5 % damped SA from Shallow Crustal Continental Earthquakes*, Vol.106, No.March 2016, hal. 687–707. <http://doi.org/10.1785/0120150194>.
- Grandis, H. (2009), *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika*.
- Hamilton, W.B. (1979), *Tectonics Of The Indonesian Region*, Washington, U.S.
- Ibrahim, G.S. (2005), *Pengetahuan Seismologi*, Jakarta.
- Irsyam, M., Sengara, W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S. dan Triyoso, W. (2012), *Hasil Studi Tim Revisi Gempa Indonesia 2010*, Bandung.
- Kramer, S.L. (1996), *Geotechnical Earthquake Engineering*, hal. 1–23.
- Marliyani, G., Arrowsmith, J.. dan Whipple, K.. (2016), "Characterization of slow slip rate faults in humid areas: Cimandiri fault zone, Indonesia", *Journal of Geophysical Research*, No.Earth Surface.

- Mufida, A., Santosa, B.J., Warnana, D.D. dan Fisika, J. (2013), *Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs)*, Vol.2, No.2.
- Nakamura, Y. (1989), *A Method For Dynamic Characteristicsestimation Of Subsurface Using Microtremor On The Ground Surface*,.
- Nakamura, Y., Sato, T. dan Nishinaga, M. (2000), *Local Site Effect of Kobe Based on Microtremor*, hal. 3–8.
- Natawidjaja, D.H. (2007), *Gempabumi dan Tsunami di Sumatra dan Upaya Untuk Mengembangkan Lingkungan Hidup yang Aman Dari Bencana Alam*, No.December.
- Nugraha, J., Sunardi, B., Climatological, M. dan Climatological, M. (2014), *Seismic Hazard Analysis And Isoseismal For Java-Bali-Ntb*, No.March 2016.
- Prawirodikromo, W. (2012), *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Pringgoprawiro, H. (1983), *Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara Suatu Pendekatan Baru*, ITB.
- PUSGEN (2017), *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Tim Pusat Studi Gempa Nasional, Bandung.
- Riyanti, A. (2017), *Analysis Of Earthquake Prone Zone According To Deterministic Methode And Geomorphology Approach In Padang City West Sumatera*, Universitas Lampung, Lampung.
- Riyantiyo, N.D. (2017), *Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Analisa Mikrotremor (Studi Kasus: Patahan Lokal Kali Surabaya)*.
- SESAME (2004), *Guidelines For The Implementation Of The H / V Spectral Ratio Technique On Ambient Vibrations Measurements , Processing And Interpretation Sesame*, No.December, hal. 1–62.
- Soehaimi, A. (2008), *Seismotektonik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa*, Vol.3, No.4, hal. 227–240.
- Sukardi (1992), *Geologi Lembar Surabaya & Sapulu, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Surabaya.
- Susilanto, P. dan Ngadmanto, D. (2015), "Analisis Kecepatan Gelombang Geser (VS) di Cilacap, Jawa Tengah sebagai Upaya Mitigasi Gempabumi", *Jurnal Meteorologi dan Geofisika (JMG)*, Vol.16, hal. 57–64.
- Takai, J. dan Tanaka, T. (1961), "On Microtremors VIII", *Tokyo*, Vol.39, No.Earthquake Res, hal. 97–114.
- Windu, P., Irsyam, M., Wardani, S.P.R. dan Maarif, S. (2015), "Persepsi Pengembangan Peta Rawan Gempa Kota Semarang Melalui Penelitian Hazard Gempa Deterministik", *Universitas Diponegoro*, Vol.36, hal. 24–31.

LAMPIRAN

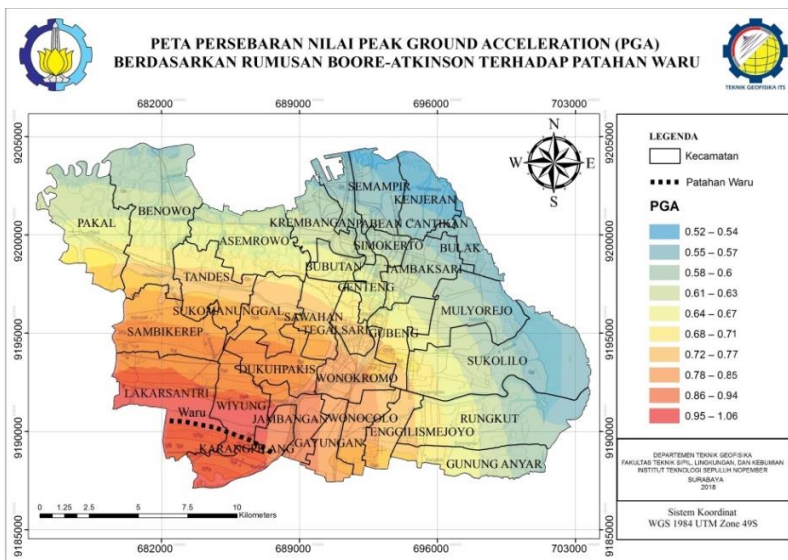
Tabel 1 Nilai Frekuensi dan Amplitudo Hasil Analisa HVS

No	Nama Titik	Longitude	Latitude	Frekuensi	Amplitudo
1	SBY009	679117	9202886	1.0	5.5
2	SBY010	681122	9203143	1.0	4.8
3	SBY011	682389	9202819	1.1	3.1
4	SBY014	692587	9203033	1.0	3.9
5	SBY015	694663	9203164	1.6	5.2
6	SBY021	683042	9200816	0.8	4.9
7	SBY022	684802	9201029	1.4	4.6
8	SBY024	688836	9200897	1.7	6.7
9	SBY025	691086	9200926	1.1	3.8
10	SBY027	694975	9201002	0.5	5.4
11	SBY028	697112	9201292	2.5	3.3
12	SBY034	687164	9198964	1.0	5.4
13	SBY039	696901	9198958	1.4	6.5
14	SBY048	691073	9197025	1.4	3.1
15	SBY049	693135	9196934	1.7	3.2
16	SBY051	697076	9197011	1.1	3.8
17	SBY052	698972	9197013	1.7	5.7
18	SBY053	700267	9196333	1.1	7.4
19	SBY063	694838	9194937	1.7	3.0
20	SBY064	696950	9194995	2.0	3.7
21	SBY065	698860	9194907	1.6	4.9
22	SBY084	684090	9190945	0.5	4.0
23	SBY087	691004	9191015	1.1	3.4
24	SBY099	690758	9189334	1.1	4.0
25	SBY103	699081	9188919	1.1	4.3
26	SBY105	683072	9187202	0.8	2.6
27	SBY108	691117	9187115	1.1	4.1

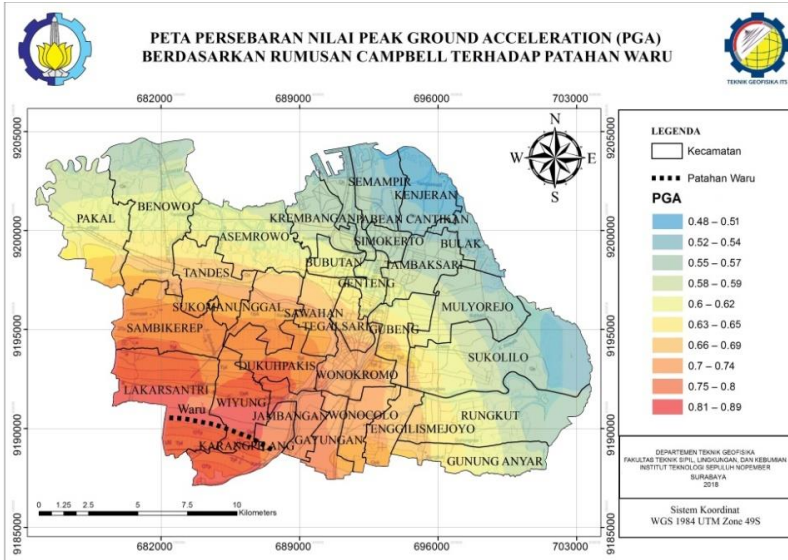
Tabel 2 Nilai Vs30 Hasil Inversi HVSR pada Seluruh Titik Pengukuran

No	Nama Titik	Longitude	Latitude	VS30
1	SBY009	679117	9202886	166.8
2	SBY010	681122	9203143	169.3
3	SBY011	682389	9202819	152.7
4	SBY014	692587	9203033	144.5
5	SBY015	694663	9203164	227.5
6	SBY021	683042	9200816	151.9
7	SBY022	684802	9201029	149.8
8	SBY024	688836	9200897	178.6
9	SBY025	691086	9200926	176.6
10	SBY027	694975	9201002	203.1
11	SBY028	697112	9201292	183.8
12	SBY034	687164	9198964	173.3
13	SBY039	696901	9198958	159.4
14	SBY048	691073	9197025	189.1
15	SBY049	693135	9196934	177.5
16	SBY051	697076	9197011	166.7
17	SBY052	698972	9197013	189.7
18	SBY053	700267	9196333	134.0
19	SBY063	694838	9194937	152.2
20	SBY064	696950	9194995	176.2
21	SBY065	698860	9194907	171.3
22	SBY084	684090	9190945	176.8
23	SBY087	691004	9191015	161.7
24	SBY099	690758	9189334	153.2
25	SBY103	699081	9188919	159.6
26	SBY105	683072	9187202	175.7
27	SBY108	691117	9187115	150.7
28	TA 01	695114	9192980	219.1
29	TA 04	692898	9193791	263.6

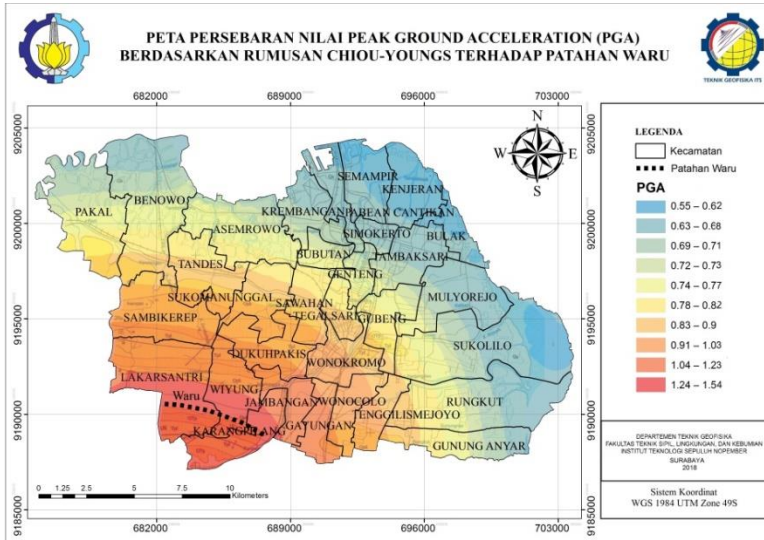
30	TA 11	686889	9195468	265.0
31	TA 12	685569	9196130	276.9
32	TA 13	682912	9194836	239.3
33	TA 14	680262	9190339	225.1
34	TA 14	690942	9194857	209.8
35	TA 17	688765	9195702	248.5
36	TA 18	687036	9196695	166.8
37	TA 19	694428	9190115	169.9
38	TA 21	692018	9191896	204.6
39	TA 27	688459	9193740	294.4
40	TA 28	685070	9192997	197.9
41	TA 29	686809	9192410	255.1
42	TA 30	689836	9192931	196.7
43	TA 31	680923	9192683	247.3
44	TA 32	687697	9194469	249.1
45	TA 33	686059	9195432	257.3
46	TA 36	688312	9192460	257.5
47	TA 37	685189	9189640	248.9
48	TA 42	688030	9189093	170.3
49	TA 44	687319	9189331	188.3
50	TA 48	683911	9189615	266.1
51	TA 53	680678	9195845	266.8



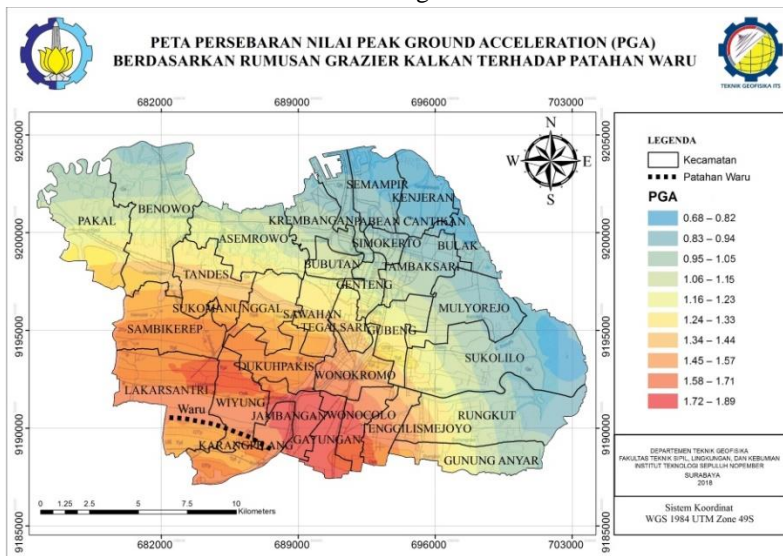
Gambar 1 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru berdasarkan Rumusan Boore-Atkinson



Gambar 2 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru berdasarkan Rumusan Campbell



Gambar 3 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru Berdasarkan Rumusan Chiou-Youngs



Gambar 4 Peta Percepatan Tanah Maksimum (PGA) terhadap Patahan Waru Berdasarkan Rumusan Grazier Kalkan

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA DIRI



Lahir di Kota Tuban pada Tanggal 27 April 1996, dengan nama Viona Rosalina. Pendidikan formal penulis dimulai di TK Bhayangkari, dilanjutkan ke SD Negeri Gambiran 2 pada tahun 2002. Selanjutnya pendidikan diteruskan ke jenjang Sekolah Menengah di SMP Negeri 1 Mojoagung pada tahun 2008. Pada tahun 2014 penulis masuk ke SMA Negeri 1 Gresik pada tahun 2011. Tahun 2014 penulis resmi menjadi mahasiswa Teknik Geofisika 2014 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS banyak pengalaman yang telah penulis dapatkan, baik softskill maupun hardskill. Tahun periode 2015 - 2016 penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika (HMTG) ITS, sebagai kepala Divisi Beasiswa Departemen Kesejahteraan Mahasiswa. Selain itu, penulis aktif di Unit Kegiatan Pramuka ITS sebagai Sekretaris Umum. Serta sebagai staff dalam Keluarga Muslim Teknik Geofisika Al-Ardh periode 2016/2017. Organisasi lain yang diikuti oleh penulis yaitu Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia IV sebagai Ketua divisi Kewirausahaan pada tahun 2017. Selain aktif dalam organisasi, penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan kepanitiaan yaitu sebagai panitia dalam Geosphere 2016 dan 2017, selain itu penulis juga menjadi panitia pada Kelas Inspirasi Kebumihan 2017 di Jombang. Pengalaman lain yang penulis dapatkan selama menjadi mahasiswa Teknik Geofisika ITS yaitu pernah melakukan Kerja Praktik (KP) di Pertamina EP Asset 4, Cepu. Pada bulan Juli 2017.